

# **ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO REVESTIMENTO DE FACHADAS**

**ANA FABÍOLA MARTINS DE CARVALHO DOS SANTOS FREITAS**

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS**

---

Orientador: Professor Doutor Fernando Brandão Alves

JULHO DE 2008

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha mãe e aos meus avós

*“Porque eu amo infinitamente o finito, porque eu desejo impossivelmente o possível, porque eu quero tudo, ou um pouco mais, se puder ser...”*

*Álvaro de Campos*

## **AGRADECIMENTOS**

Com a entrega desta dissertação chega ao fim o meu percurso académico de 5 anos vivido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Lembranças destes momentos de aprendizagem aqui vividos nunca me faltarão.

A ajuda sempre demonstrada por todos aqueles que me acompanharam nesta jornada jamais irá ser esquecida. É com eles que compartilho e agradeço esta conquista.

Ao meu orientador Professor Doutor Fernando Brandão Alves pela disponibilidade assídua, incentivo e entusiasmo pelo tema que suscitou em mim.

À minha orientadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Professora Doutora Elaine Garrido Vasquez pela extraordinária capacidade de motivação, amizade e apoio.

À Professora Doutora Helena Corvacho pela ajuda, esclarecimentos, disponibilidade e por me ter facultado muita bibliografia que se revelou preciosa.

Ao Arquitecto Diogo Guimarães um dos coordenadores do projecto do edifício Burgo pelos esclarecimentos relativos a este caso de estudo e cedência de material essencial.

Ao Engenheiro Raul Bessa por toda a ajuda e a todos os elementos do GET pelo material que me disponibilizaram e pelo à vontade com que me deixaram consultá-lo, o que se revelou uma fonte imprescindível para elaboração do estudo da fachada do INEGI.

Ao Arquitecto Luís Ramalho, responsável pelo projecto arquitectónico do edifício INEGI.

Ao Arquitecto João Cortesão pelos artigos, teses e material facultado.

À Arquitecta Bárbara Rangel uma magnífica ajuda sempre presente nos meus casos de estudo pelo material disponibilizado e disponibilidade assídua.

Ao Professor Doutor Adalberto França um ajuda sempre preciosa e única.

À minha mãe, avó e avô, os verdadeiros grandes amores da minha vida.

A todos os meus amigos, que sempre foram o meu porto seguro e me deram força para ir em frente com este projecto e enfrentar períodos em que a meta deste trabalho parecia inatingível.





## **RESUMO**

O objectivo deste trabalho é promover uma compreensão científica das bases da engenharia e da ciência com vista ao avanço de construção sustentável.

Destina-se a proporcionar ao sector da construção um novo enquadramento de ideias com base na integração de abordagens e de resultados de investigação em curso e projectos de desenvolvimento e de dar uma visão geral da habitação, apresentando as principais estratégias identificadas para a melhoria da envolvente dos edifícios urbanos.

Hoje em dia os revestimentos de fachadas tornaram-se algo mais do que apenas uma questão de beleza e estética. Na verdade, é uma maneira de garantir o conforto térmico para o habitante, a fim de proporcionar baixo consumo de energia para a habitação e outros custos a ela associados, contribuindo para um ambiente mais sustentável

Em suma, este documento irá concentrar-se igualmente em outros factores que contribuem para uma justa escolha de matérias-primas como o seu desempenho ecológico, tendo em conta uma abordagem integrada para lidar com os produtos finais da construção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arquitectura Bioclimática, Revestimento de Fachadas, Sustentabilidade, Eficiência Energética, Conforto Térmico.



## **ABSTRACT**

The aim of this work is to promote a scientific understanding of life-time engineering and to boost science-based advanced of sustainable construction.

It aims to provide the construction sector with a new framework and ideas based on the integration of approaches and results of ongoing research and development projects and to give an overview of housing, presenting the main strategies identified for the improvement of the urban building envelopes.

Nowadays it has become more than just beauty and aesthetic. In fact, it is a way to guarantee thermal comfort to the inhabitant in order to provide low energy consumption to the house and other associated costs, contributing, in this way, to a more sustainable environment.

Altogether, this paper will also focus on other factors that contribute to a fair choice of raw material as their ecological feature, bearing in mind an integrated approach to deal with the end-products of construction.

**KEYWORDS:** Bioclimatic Architecture, Façade Coating, Sustainability, Energetic Efficiency, Thermal Comfort



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v

## INTRODUÇÃO .....

7

## 1. ESTADO DA ARTE – SUSTENTABILIDADE E REVESTIMENTO DE FACHADAS .....

9

1.1. CONTEXTO HISTÓRICO E PANORAMA ACTUAL DA ARQUITECTURA .....	9
1.2. RETROSPECTIVA DA EVOLUÇÃO DA TEMÁTICA DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL .....	11
1.3. ESTADO DA ARTE – SUSTENTABILIDADE E REVESTIMENTO DE FACHADAS .....	13
1.3.1. PREÂMBULO .....	13
1.3.2. CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL .....	13
1.3.3. EXIGÊNCIAS ESSENCIAIS .....	16
1.3.4. NÍVEL DE MANUTENÇÃO .....	17
1.3.4.1. Considerações .....	17
1.3.4.2. Classificação do nível de manutenção.....	17
1.4. PANORAMA ACTUAL SOBRE O TEMA DO REVESTIMENTO DE FACHADAS .....	18
1.5. PROBLEMAS, NECESSIDADES E SOLUÇÕES RELATIVAS AO INVÓLUCRO EXTERNO DOS EDIFÍCIOS – A LEGISLAÇÃO PORTUGUESA E ENQUADRAMENTO EUROPEU. ....	19
1.5.1. REGULAMENTOS .....	19
1.5.2. CERTIFICAÇÃO EM PORTUGAL E MUNDIAL.....	21

## 2. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA .....

23

2.1. INTRODUÇÃO .....	23
2.2. CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS – REFLEXÃO CRÍTICA .....	25
2.3. CONCEITOS BIOCLIMÁTICOS NA ARQUITECTURA .....	28
2.3.1. A ENERGIA SOLAR E OS EDIFÍCIOS .....	28
2.3.2. GEOMETRIA SOLAR .....	29
2.3.3. ORIENTAÇÃO DAS FACHADAS .....	30
2.3.4. INÉRCIA TÉRMICA .....	34

<b>2.4. ESTRATÉGIAS PARA A CONSTRUÇÃO BIOCLIMÁTICA .....</b>	<b>35</b>
2.4.1. INTRODUÇÃO .....	35
2.4.2. CONCEPÇÃO, FORMAS E CORES NA ARQUITECTURA – REFLEXÃO .....	35
2.4.3. CARTA BIOCLIMÁTICA DE BARUCH GIVON.....	36
2.4.4 QUADRO RESUMO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS .....	39
2.4.5.MECANISMOS DE VENTILAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAIS.....	41

### **3. REVESTIMENTO DE FACHADAS SUSTENTÁVEIS. MATERIAIS. ....**

<b>3.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2. MATERIAIS SUSTENTÁVEIS.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3. PAREDES TROMBE.....</b>	<b>62</b>

### **4. CASOS DE ESTUDO .....**

<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2. PARQUE TEMÁTICO DA MADEIRA.....</b>	<b>68</b>
4.2.1. PREÂMBULO .....	68
4.2.2. ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS .....	72
4.2.2.1.Escolha .....	72
4.2.2.2.Durabilidade.....	72
4.2.2.3. Sustentabilidade .....	74
4.2.2.4. Aparência e custos e encargos .....	74
4.2.2.5. Características Mecânicas .....	74
<b>4.3. INEGI – INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL .....</b>	<b>76</b>
4.3.1. APRESENTAÇÃO DO INEGI .....	76
4.3.2. AS NOVAS INSTALAÇÕES DO INEGI/IDMEC .....	76
4.3.2.1. Preâmbulo .....	76
4.3.2.2. Nave .....	77
4.3.2.3. Corpo Frontal.....	78
4.3.2.4. Torre .....	79
4.3.3. ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS - FACHADA VENTILADA .....	79
4.3.3.1. Constituição, montagem e funcionamento .....	80
4.3.3.2. Vantagens da fachada ventilada .....	82

4.3.3.3. Inconvenientes da fachada ventilada .....	83
4.3.4. ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS – REVESTIMENTO EXTERIOR EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO .....	83
4.3.4.1. Considerações gerais.....	83
4.3.4.2. Vantagens relativamente a outro tipo de revestimentos.....	84
<b>4.4. EDIFÍCIO BURGO .....</b>	<b>87</b>
4.4.1. PREÂMBULO .....	87
4.4.2. APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	87
4.4.3. CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS FACHADAS – ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS .....	88
4.4.3.1. Pedra .....	89
4.4.3.2. Vidro .....	92
<b>4.5. EDIFÍCIOS NO RIO DE JANEIRO .....</b>	<b>94</b>
4.5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	94
4.5.2. CONJUNTO JOÃO ERNESTO.....	95
4.5.2.1. Descrição da fachada.....	95
4.5.2.2. Estratégias de Melhoramento do Prédio.....	97
4.5.3. EDIFÍCIO GUSTAVO CAPANEMA.....	97
4.5.3.1. Caracterização do Prédio .....	97
4.5.3.2. Forma do Prédio e Layout Interno .....	98
4.5.3.3. Dados construtivos e detalhes .....	98
4.5.3.4. Desempenho do Prédio.....	100
4.5.3.5. Discussão, possíveis estratégias e conclusões .....	103
4.5.4. SEDE DA PETROBRÁS .....	103
4.5.4.1. Descrição do prédio.....	103
4.5.4.2. Medições .....	105
4.5.4.3. Nota Final.....	105
 <b>5. CONCLUSÕES .....</b>	 <b>107</b>

## **6. BIBLIOGRAFIA E SÍTIOS ELECTRÓNICOS**



## Índice de figuras

Figura 1 – Evolução das fachadas em Portugal .....	20
Figura 2 – Materiais potencialmente recicláveis – Garrafas PET e latas .....	27
Figura 3 - Radiação Solar média anual em Portugal Continental.....	28
Figura 4 – Trajectória aparente do sol no Hemisfério Norte .....	29
Figura 5 – Solstício de Inverno Hemisfério Norte .....	31
Figura 6 – Solstício de Verão – Hemisfério Norte.....	32
Figura 7 – Incidência do Sol nas diferentes horas e nas diferentes fachadas .....	33
Figura 8 – Zonas existentes no diagrama bioclimático .....	37
Figura 9 – Intervenientes no conceito de desenvolvimento sustentável.....	45
Figura 10 – Exemplos de tijolo ecológico.....	47
Figura 11- Edifícios revestidos a elementos cerâmicos.....	51
Figura 12 – Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas .....	54
Figura 13 – Composição de um ETICS constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido .....	55
Figura 14 – Comparação das propriedades de materiais utilizados em sistemas solares para aquecimento de água.....	57
Figura 15 – Fluxograma de Transmissão térmica.....	58
Figura 16- Esquema de janela electrocrómica.....	60
Figura 17 - Esquema do de uma Parede Trombe consoante as estações do ano. ....	63
Figura 18 – Pormenor construtivo de uma parede Trombe .....	65
Figura 19 – Parque temático da Madeira – Planta Geral .....	69
Figura 20 – Parque temático da Madeira - Alçados lateral e Frontal do Edifício B .....	70
Figura 21 – Parque temático da Madeira – Alçado lateral e frontal do edifício D.....	70
Figura 22 – Pormenor construtivo do Revestimento exterior em madeira .....	75
Figura 23 – os três componentes em que se subdivide a estrutura do edifício do INEGI.....	77
Figura 24 – Entrada para a Nave, onde se localizarão os meios de produção utilizados pelo INEGI ..	78
Figura 25- Torre e corpo do edifício (vista frontal do edifício) .....	78
Figura 26 - Orientações expostas do edifício (vista aérea) .....	79
Figura 27 – Pormenorização das fachadas da torre .....	80
Figura 28 – Aspectos elementares de funcionamento da fachada ventilada do INEGI – Alçado corte	82
Figura 29- Chapa de aço ondulada pré lacada “HAIRONVILLE” – Frequência 13.18 HA” .....	84

Figura 30- Chapa de aço - referência normativa.....	85
Figura 31 – Chapa de aço – tabela de utilização para cargas normais admissíveis .....	85
Figura 32 – Pedra – Corte vertical pelos vãos fachadas nascente e poente (sem escala) .....	91
Figura 33- Vidro - Corte vertical pelas fachadas Norte e Sul.....	93
Figura 35 – Gráfico da variação de temperatura no verão.....	100
Figura 36 – Gráfico da variação da temperatura no Inverno.....	101
Figura 37 – Resultado das simulações .....	102
Figura 38 – Registos de temperatura no Inverno .....	105

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Revestimentos exteriores de paredes.....	14
Quadro 2 - Valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores em Portugal continental .....	31
Quadro 3 – Radiação solar incidente sobre superfícies verticais no Rio de Janeiro (em $kwh / m^2 / dia$ ) .....	33
Quadro 4 – Observações na Orientação das Fachadas.....	34
Quadro 5 – Valores dos coeficientes de absorção solar consoante as cores dos revestimentos.....	36
Quadro 6 – Resumo das estratégias .....	38
Quadro 7 – Resumo de estratégias conforme as zonas climáticas.....	39
Quadro 8 – Resumo de estratégias. Caso particular do clima de Portugal.....	40
Quadro 9 - Técnicas solares passivas- sistema de aquecimento solar passivo .....	41
Quadro 10 – Percentagens mais adequadas para a dimensão dos vãos envidraçados.....	43
Quadro 11- Constituintes e vantagens da Parede Trombe .....	63
Quadro 12 – Variações dimensionais face à variação de 1% do teor em água da madeira de pinho ..	73
Quadro 13 – Condutibilidade térmica de madeiras.....	73
Quadro 14 – Diminuição das propriedades mecânicas do contraplacado em função do aumento da humidade.....	75
Quadro 15 – Zonas de Maior concentração da mancha vermelha.....	95
Quadro 16 – Estratégias bioclimáticas - Análise da carta Bioclimática para o Rio de Janeiro .....	95

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Fachadas envidraçadas na orla de Ipanema, Rio de Janeiro.....	10
Fotografia 2 – Fachadas envidraçada – Avenida Vieira Souto – Ipanema .....	11
Fotografia 3 – Revestimento de placas de pedra com isolante na lâmina de ar .....	15
Fotografia 4 – Sistema de isolamento térmico pelo exterior com revestimento aplicado sobre isolante (tipo ETICS) .....	15
Fotografia 5 – Casas alentejana e inclinação dos telhados nos países nórdicos.....	24
Fotografia 6 – Solstício de Inverno.....	30
Fotografia 7 – Solstício de Verão .....	30
Fotografia 8 – Três casas pintadas com tinta à base de terra .....	48
Fotografia 9 – Hilton São Paulo Morumbi, fachada revestida com granito. ....	52
Fotografia 10 – Exemplo de fachada revestida a alumínio .....	55
Fotografia 11 – Piramide do Louvre Paris .....	58
Fotografia 12 – Edifício da Swiss Re – Londres .....	59
Fotografia 13- vidro electrocrómico na Unisys - Amsterdão, Holanda.....	61
Fotografia 14 – Aspecto exterior de uma Parede Trombe (Casa Schäfer, Porto Santo, Portugal) .....	62
Fotografia 15 – Parque temático da Madeira – vista geral.....	68
Fotografia 16 – Parque temático da Madeira – Aspecto da integração na topografia local .....	70
Fotografia 17 – Parque Temático da Madeira – Área envolvente do edifício do caso de estudo.....	71
Fotografia 18 – Parque Temático da Madeira - Edifício da Cafetaria. ....	72
Fotografia 19 – INEGI.....	76
Fotografia 20 – Fachada exterior da Torre do INEGI.....	77
Fotografia 21 – Fachada ventilada do INEGI .....	81
Fotografia 22 – Fachada Norte e Oeste, respectivamente, revestidas a chapas de aço pré-lacada ...	83
Fotografia 23 – Vista geral do edifício Burgo a partir da Avenida da Boavista .....	87
Fotografia 24 – Fachada Norte do edifício Burgo .....	88
Fotografia 25 – Dicotomia entre a fachada Sul totalmente envidraçada e a fachada Este revestida a pedra.....	89
Fotografia 26 – Edifício Burgo – Fachada revestida a pedra granítica de Alpalhão .....	89
Fotografia 27 – Fachada Oeste revestida a granito de Alpalhão.....	90
Fotografia 28 – Fachada Leste (com incidência do Sol de manhã) .....	96
Fotografia 29 – Pilares do MEC .....	98

Fotografia 30 – Pormenor dos brises-soleils móveis horizontais da fachada Norte.....	99
Fotografia 31 – Fachada Norte .....	99
Fotografia 32 – Fachada Leste .....	99
Fotografia 33 – Pano de vidro contínuo da Fachada Sul .....	100
Fotografia 34 – Luzes acesas durante o dia na fachada sul .....	102
Fotografia 35 - Sede da Petrobrás .....	103
Fotografia 36 – Fachada Oeste, com brises verticais.....	104
Fotografia 37- O contraste entre a fachada Oeste (brises verticais) e a fachada norte (brises horizontais) .....	104



# INTRODUÇÃO

## CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O projecto apresentado é fruto de uma pesquisa elaborada ao longo de dois semestres tendo a parte inicial sido desenvolvida durante o período de permanência na Universidade Federal do Rio de Janeiro no âmbito da disciplina de projecto de graduação com ênfase em construção civil ao abrigo do programa de intercâmbio MOBILE. A segunda parte do trabalho, mais orientada para as características da envolvente do edifício no contexto Europeu, foi desenvolvida na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

## OBJECTIVOS

Procura-se com esta monografia compreender em que medida o revestimento de fachadas pode conduzir a uma maior sustentabilidade ambiental do edifício e do ambiente que lhe é adjacente, bem como os seus impactes no Homem e nas suas necessidades.

A sustentabilidade ambiental associada à envolvente dos edifícios (a sua pele) representa mais que a procura de matérias-primas que sejam renováveis, reutilizáveis ou recicláveis e pouco geradoras de resíduos de modo a permitir a economia da energia correspondente. É ainda mais abrangente que a procura de um revestimento que seja durável, com longa vida útil que não careça constantemente de reposição ou manutenção ou que seja não poluente de modo a que não sejam emitidos vapores, partículas ou toxinas nocivas ao meio ambiente, seja no uso, seja na fabricação. Está ainda mais além do que o interesse em utilizar materiais provindos de fontes naturais cuja produção cause menores problemas de impacte ambiental.

A sustentabilidade ambiental dos edifícios é conseguida com tudo o que se referiu mas visa ainda alcançar, através da adequada envolvente exterior dos edifícios um crescente conforto térmico do usuário sem que ele precise de recorrer a dispositivos mecânicos ou artificiais para atingir esse estado de bem-estar natural reduzindo-se o recurso a mecanismos de calefação ou de arrefecimento conseguindo assim, um bem-estar promovido naturalmente.

Neste sentido, este tema é uma procura contínua por fachadas energeticamente eficientes, utilizando pouca energia na sua produção, transporte e utilização e que, adicionalmente, devem contribuir para um bom isolamento de forma a prevenir perdas ou ganhos energéticos indesejados. Hoje em dia, uma arquitectura sustentável possibilita aos empreendedores, projectistas, arquitectos e outros profissionais envolvidos na área de construção civil, integrarem tópicos de eficiência de recursos, para além do respeito ambiental e cultural nos projectos, criando edificações e espaços mais saudáveis e confortáveis de ocupar e, portanto, mais susceptíveis de gerar maior produtividade no caso do uso para o trabalho.

O objectivo desta investigação é também um ponto de partida para uma reflexão sobre o Homem e o seu ecossistema visando uma melhor interacção do revestimento das fachadas com o meio ambiente, uma adequada percepção dos projectos, a utilização de materiais que melhor se adaptem às condições

climáticas locais, bem como a preservação de recursos naturais não renováveis ou daqueles cuja renovação exija um longo período de tempo. Vai procurar-se discutir conceitos, oriundos do conhecimento científico, que se espera que possam ser aplicados desde os primeiros esboços do projecto, para construir edifícios adaptados ao tipo de clima. Deste modo, com ciência e consciência do meio ambiente, em busca de um aumento na qualidade de vida nos ambientes edificados, no seu entorno, e nas formas de urbanização para cada região, produzir-se-iam edifícios de baixo consumo energético, permitindo alcançar uma arquitectura mais sustentável.

É tempo de se criar uma sociedade mais económica, mais sustentável, tanto em termos de soluções arquitectónicas como em economia de energias numa época em que os seus custos são cada vez mais elevados.

Mais do que analisar detalhadamente a tecnologia existente tentar-se-á, ao longo deste trabalho, mostrar a área de expansão deste tipo de construção e procurar antever os seus possíveis progressos.

## **METODOLOGIA EMPREGUE**

Este estudo fundamenta-se na pesquisa bibliográfica sobre arquitectura bioclimática e sustentabilidade dos materiais de revestimento de fachadas através de pesquisa na Internet, livros, outras publicações e obras já realizadas com esta preocupação, bem como recorrendo a reuniões com engenheiros, arquitectos e coordenadores de projecto. Estes técnicos, relacionados com os casos de estudo que apresentamos, muito ajudaram a compreender e a eleger os pontos-chave para o desenvolvimento desta temática.

## **ESTRUTURA DO TRABALHO**

O capítulo 1 remete-nos para o estado da arte da temática relativa à sustentabilidade ambiental dos edifícios com particular realce para os revestimentos das fachadas.

No segundo capítulo desenvolve-se uma descrição do tema do trabalho através de uma revisão bibliográfica no âmbito da arquitectura bioclimática. O referencial teórico compreende as teorias de base que deram suporte ao trabalho que foi desenvolvido, bem como uma análise da literatura sobre o assunto tratado, com a finalidade de situar o leitor quanto aos progressos recentes que envolvem o objecto da investigação.

No capítulo terceiro listam-se e estudam-se os materiais (de revestimento) que através de suas características contribuem para a criação de fachadas sustentáveis.

O quarto capítulo incide sobre casos de estudo de envolventes externas de edifícios recentes e com notória visibilidade no actual panorama arquitectónico devido aos cuidados tidos na sua concepção em termos bioclimáticos, realizando-se uma série de observações sobre o seu desempenho. Nesta secção foram também inseridos outros casos de estudo elaborados durante o período de intercâmbio escolar com um contexto bioclimático distinto visto situarem-se numa cidade de clima tropical húmido do hemisfério sul, o Rio de Janeiro. Ficam assim outras perspectivas da envolvente das fachadas dos edifícios e a sua componente de arquitectura bioclimática relacionada com os edifícios.

No quinto capítulo, expõe-se as conclusões finais, e procura-se avaliar o grau de consecução dos objectivos inicialmente propostos. Sugerem-se ainda possíveis desenvolvimentos de estudos futuros similares bem como de possibilidades de aplicação prática.



## 1

## ESTADO DA ARTE – SUSTENTABILIDADE E REVESTIMENTO DE FACHADAS

### 1.1. CONTEXTO HISTÓRICO E PANORAMA ACTUAL DA ARQUITECTURA

Por ser um animal homeotérmico, o corpo do Homem possui mecanismos fisiológicos termorreguladores para a adaptação às diferentes condições impostas pelo meio. Todavia, apesar de incondicionalmente extraordinário, o desempenho destes mecanismos de adaptação corporal possuem limitações. Com o intuito de estender essa capacidade, desde os primórdios da civilização, o Homem desenvolve os seus próprios mecanismos de protecção através de vestuário e edificações procurando proteger-se das intempéries e do ambiente hostil.

A partir do período neolítico o Homem tornou-se um ser sedentário e, como tal, começou a construir os seus próprios abrigos. Inicialmente de uma forma muito rudimentar, empregando soluções frequentemente obtidas apenas com o emprego de meios e de materiais disponíveis no ambiente circundante. A necessidade aguça o engenho e os “construtores” foram optimizando os materiais, a organização dos espaços externos e o próprio layout dos edifícios. A inexistência de tecnologias sofisticadas fez com que procurasse, nas suas construções, condições que reduzissem o calor, o frio, a humidade e o ambiente seco, entre outros, tendo então desenvolvido construções energeticamente eficientes e adaptadas às condições climáticas particulares [1]

Já em 1948, Melville J. Herskovits na sua obra “Man and His Works” definiu que “ *Habitat designa o cenário natural da existência humana, as condições físicas da região habitada por um grupo de gente, seus recursos naturais, real ou potencialmente à sua disposição, clima, altitude e outras condições geográficas as quais se adaptou*”.

Testemunhas destes conhecimentos são as construções vernáculas, construções de carácter popular, resultado das necessidades, possibilidades e valores de uma população, que está integrada no seu habitat [2].

Esta preocupação em construir edifícios sensíveis ao local e ao clima, pode também ser constatada através dos exemplos da arquitectura e do urbanismo grego e romano ou das primitivas casas indígenas nas regiões tropicais; todos eles demonstram uma adaptação à topografia, à vegetação e às diferenças de temperatura, construindo desta forma um espaço modificado, no qual o ser humano pudesse encontrar conforto, no mais amplo sentido do termo.

Com o passar do tempo, a humanidade foi evoluindo até que as descobertas tecnológicas colocaram nas mãos dos arquitectos e engenheiros procedimentos construtivos e materiais que permitissem o seu uso adequado passando para um obscuro segundo plano as condições ambientais e a qualidade de vida [3]. Na verdade, à medida da sua evolução e maior sofisticação, passaram a introduzir-se materiais e equipamentos mais elaborados, muitas vezes vindos de outros lugares, ainda que distantes, o que

permitia aos arquitectos a liberdade para importar modelos, formas e materiais, criar à vontade, levando a um afastamento da arquitectura vernacular e a uma deterioração do conforto ambiente das edificações, ao mesmo tempo que fomentou o uso excessivo de todo e qualquer recurso disponível.

Com a Revolução Industrial (séc. XVIII) desenvolveu-se a mecanização da produção que permitiu a expansão de técnicas de construção e o aparecimento de novos materiais que subsistem até aos dias de hoje. Com estas mudanças intrínsecas também a concepção dos edifícios começou a depender menos de ambiente e mais da energia para o seu conforto térmico devido à provisão abundante de combustível fóssil. Estes desenvolvimentos tecnológicos aliados a combustíveis mais baratos afectaram também o sector da construção pois introduziram novos métodos de aquecimento, arrefecimento e tecnologias de iluminação eléctrica que levaram a que os edifícios fossem ficando progressivamente mais destacados dos seus ambientes [4].

Todas estas novas descobertas fizeram aumentar as expectativas dos ocupantes dos edifícios que pouco a pouco foram preferindo estas novas invenções, em lugar de privilegiar a posição do edifício ou o seu espaço envolvente. A necessidade de ostentar o “progresso”, o poder económico, a abundância de tecnologia, fez com que sobretudo nos tempos contemporâneos em muito se desconsiderasse a questão ambiental da arquitectura. Desde então, criou-se um padrão globalizado nas cidades, o que levou, por exemplo, à construção, nos trópicos, de edifícios com fachadas totalmente envidraçadas, verdadeiras estufas pelo excesso de insolação, o que acabou por ser corrigido por sistemas de arrefecimento e iluminação demasiado caros.

Nas fotografias 1 e 2 são apresentados três exemplos de fachadas que incorrem neste erro.



Fotografia 1 – Fachadas envidraçadas na orla de Ipanema, Rio de Janeiro (Fonte: Foto da autora)



Fotografia 2 – Fachadas envidraçadas – Avenida Vieira Souto – Ipanema (Fonte: Foto da Autora)

Contudo, com a primeira crise de energia, produzida pelo grande aumento do preço do petróleo em 1973 a Europa atravessou uma difícil situação económica. O custo do aquecimento dos edifícios e a escassez de combustíveis tornaram-se motivos de grande preocupação. Ganhou-se assim a consciência de que algo teria de ser feito para melhorar a edificação. Surgiu então a arquitectura solar que se preocupou fundamentalmente em incorporar energia solar nos edifícios para contribuir na sua calefação, poupando o consumo de energia convencional. Pouco a pouco foi renascendo uma arquitectura preocupada com a sua integração com o clima local, visando a habitação centrada sobre o conforto ambiental do ser humano e a sua repercussão no planeta.

Presentemente, no século XXI, a arquitectura, sem desprezar o belo e a plasticidade das formas, o conforto e a funcionalidade, terá que forçosamente reencontrar um meio ambiente cujo equilíbrio é de fundamental importância para a sobrevivência da espécie humana. Com consciência crescente do impacto ambiental na vida moderna, uma nova aproximação está a emergir procurando promover edifícios melhor ajustados às necessidades dos ocupantes e mais “amigos do ambiente” global.

Segundo estudos desenvolvidos pela ETSU (East Tennessee State University), no Reino Unido, constata-se também que um replaneamento simples e uma reorientação adequada na morfologia urbana podem resultar em economias de energia bastante significantes. Onde é necessário um arrefecimento a vegetação caduca pode ser uma excelente opção por fornecer sombra, arrefecimento do ar por evapo-transpiração e filtração de pó e poluentes transportados pelo ar, permitindo a passagem de raios solares no Inverno. As cores pálidas podem também reflectir de um modo mais efectivo a radiação solar, sendo exemplo disso, as ruas caiadas e os edifícios de algumas cidades do Mediterrâneo. Em locais onde a necessidade de arrefecimento no Verão se sobrepõe à necessidade de aquecimento no Inverno as ruas e os espaços públicos podem ser orientados para tirar proveito das brisas assim como a construção de edifícios com configurações que podem promover um mútuo sombreamento.

## 1.2. RETROSPECTIVA DA EVOLUÇÃO DA TEMÁTICA DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

*“Se a capacidade da terra para suportar o nosso crescimento é finita – e sem dúvida que o é, estávamos demasiado ocupados para nos apercebermos disso. No dealbar do novo milénio começamos a acordar deste delírio (...) é altura de pormos a terra em ordem e pensar no que é preciso fazer para conseguirmos uma vida agradável e sustentável num futuro indeterminado”*

[ In “O Futuro da Vida” de Edward O. Wilson ]

Tal como já se disse anteriormente, entrou-se numa época em que grande parte dos princípios básicos de construção foi sendo substituída por interesses económicos ou estéticos e onde foi necessário, para suplantar o desconforto causado, introduzir soluções tecnológicas tais como sistemas de iluminação e climatização artificiais. Isto levou a que os consumos energéticos dos edifícios, sobretudo de energia eléctrica, subissem em flecha, apesar desse aumento ser totalmente desnecessário podendo mesmo ser diminuído ou eliminado. Na área da construção, em particular, o fascínio pela técnica e a inconsciência da esgotabilidade dos recursos conduziram a que as boas práticas ancestrais fossem sendo esquecidas, talvez por se pensar que a tecnologia poderia resolver todos os problemas. Como tal, é vital a sensibilização dos cidadãos para esta problemática, contribuindo com isso para desmistificar a ideia de que o bem-estar está relacionado com o esbanjamento de recursos.

A ideia de desenvolvimento sustentável começou a difundir-se neste contexto, à medida que cresceu a consciência sobre o esgotamento dos recursos naturais. Esta percepção teve por base o princípio de que o Homem deveria gastar os recursos naturais de acordo com a sua capacidade de renovação, evitando assim o seu esgotamento.

Ao longo dos últimos anos várias cimeiras de interesse internacional têm debatido esta temática com vista a perceber o que é o desenvolvimento sustentável e também como o inserir no mundo e na vivência do quotidiano de todos.

Desde 1973, ano da Crise do Petróleo, passando por 1997 – data do primeiro evento internacional sobre construção sustentável, em Helsínquia, na Finlândia até ao presente, a visão sobre o que é a Construção Sustentável tem vindo a ser modificada e aprofundada, à semelhança dos organismos vivos quando submetidos a pressões externas, adaptando-se para sobreviver.

No início, o desafio era superar a Crise do Petróleo através de prédios energeticamente mais eficientes; contudo, com o passar dos anos, tomou-se consciência da existência de outros “inimigos”, como o entulho gerado pela obra; o lixo dos moradores e usuários; uma das mais recentes ameaças é constituída pelas emissões de dióxido de carbono e dos outros gases responsáveis pelo efeito estufa [5]. Com todas estas agravantes, ou pela consciencialização da sua existência, começou a perceber-se que a construção sustentável não é um modelo para resolver problemas pontuais, mas uma nova forma de pensar a própria construção e tudo o que a envolve. Trata-se de um enfoque integrado na própria actividade, de uma abordagem sistémica em busca de um novo paradigma: o de intervir no meio ambiente, preservando-o e, em escala evolutiva, recuperando-o a fim de gerar harmonia no ambiente adjacente. Estava, assim, na altura de se iniciar uma busca incessante para alcançar o “desenvolvimento sustentável”.

É neste contexto que em 1987 surgiu um documento elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas, o Relatório de Brundtland, no qual o desenvolvimento sustentável é concebido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades”. Reafirma uma visão crítica do modelo de desenvolvimento adoptado pelos países industrializados e reproduzido pelas nações em desenvolvimento, dos quais ressaltam os riscos do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas. O relatório aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes. Fica claro, nessa nova visão das relações homem - ambiente, que não existe apenas um limite mínimo para o bem-estar da sociedade; há também um limite máximo para a utilização dos recursos naturais, de modo a que sejam preservados. Algumas outras medidas para a implantação de um programa minimamente adequado de desenvolvimento sustentável são sugeridas aquando deste relatório foram o uso de novos materiais na construção com vista ao

aproveitamento e consumo de fontes alternativas de energia, como a solar, a eólica, a geotérmica, a reciclagem de materiais reaproveitáveis, o consumo racional de água e de alimentos e a redução do uso de produtos químicos prejudiciais à saúde na produção de alimentos. [6]

Em 1999 foi publicada a *Agenda 21 on Sustainable Constrution* com vista a criar um consenso com contexto fundamentado e para dar uma revisão detalhada dos conceitos, problemas e desafios do desenvolvimento e construção sustentável, e propôs certos desafios para a indústria da construção. O Desenvolvimento Sustentável busca assim o equilíbrio entre protecção ambiental e desenvolvimento económico e serviu de base para a formulação deste Programa das Nações Unidas, com a qual mais de 170 países se comprometeram, por ocasião da Conferência. Tratou-se de um abrangente conjunto de metas para a criação de um mundo equilibrado.

Já mais tarde, a Declaração de Política de 2002, da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em Joanesburgo, afirmou que o Desenvolvimento Sustentável era construído sobre “três pilares interdependentes e mutuamente sustentadores” — desenvolvimento económico, desenvolvimento social e protecção ambiental. Este debate reconheceu a complexidade e o interrelacionamento de questões críticas como pobreza, desperdício, degradação ambiental, decadência urbana, crescimento populacional, igualdade de géneros, saúde e conflito. [7]

Em suma, o desenvolvimento sustentável visa garantir equilíbrio económico, social, cultural e progresso tecnológico, sem poluir os ecossistemas e sem esgotar os recursos naturais. Porém, a boa gestão dos recursos naturais, sem prestar igual atenção ao reforço dos recursos humanos, dos capitais e de informação não irá conduzir a um desenvolvimento sustentável. As muitas frentes de discussão sobre o assunto enveredam por buscar formas alternativas de energia em substituição ao petróleo, pela manutenção de florestas para evitar sua extinção e o exercício de uma arquitectura sustentável. Em resumo, a sustentabilidade deve prever o melhor para as pessoas e para o ambiente, tanto agora como num futuro infundável. Uma definição de sustentabilidade pode então ser dada pela sobrevivência, entendida como a perenidade dos empreendimentos humanos e do planeta. Implica planear e executar acções levando em conta simultaneamente que o empreendimento seja “ecologicamente correcto; economicamente viável; socialmente justo; e culturalmente aceito”.

### **1.3. O ESTADO DA ARTE DOS REVESTIMENTOS DE FACHADAS EM PORTUGAL**

#### **1.3.1. PREÂMBULO**

Na típica construção do nosso país, a qualidade dos revestimentos de fachadas exteriores tem uma expressiva influência nas condições de habitabilidade dos edifícios por terem um papel importante na estanquidade à água, poderem fazer a diferença no isolamento térmico, por influenciarem a existência ou não de condensações no interior ou por protegerem as alvenarias e estruturas exercendo uma influência determinante na sua durabilidade. Os factores anteriormente indicados associados ao aspecto estético dos edifícios, reúnem a grande importância no desenho das cidades e na qualidade de vida das populações.

#### **1.3.2. CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL**

Perante a tão grande gama de revestimentos diversificados com que nos deparamos no dia-a-dia nem sempre é fácil ter tempo para adquirir uma grande prática de aplicação em suportes também eles tão diferentes. A filosofia exigencial e a mais adaptada às situações onde a inovação surge com frequência e implica três passos fulcrais: [8]

- Definição das funções que se pretende ver desempenhadas pelo revestimento numa determinada situação
- Identificação das características do revestimento relevantes para o desempenho das funções definidas
- Estabelecimento de métodos de quantificação e de avaliação dessas características (por exemplo, definição de métodos de ensaio e de valores limites considerados satisfatórios).

É possível classificar os revestimentos de diversas formas: conforme o material, a espessura ou o grau de tradicionalidade, por exemplo; mas, para facilitar a utilização da filosofia exigencial, é mais útil classificá-los de acordo com as funções principais que desempenham. Algumas das principais funções dos revestimentos de paredes são a regularização dos tocos, o acabamento dos paramentos e a protecção das alvenarias, formando uma barreira às acções externas potencialmente deteriorantes. Alguns revestimentos exteriores específicos podem ainda ter funções de isolamento térmico, de isolamento acústico ou outras.

Resume-se, no Quadro 1, a classificação funcional adoptada pelo LNEC para os revestimentos utilizados em Portugal em paramentos exteriores de paredes. Em geral espera-se que estes desempenhem funções de impermeabilização, ou seja, que contribuam significativamente para a estanquidade global da parede. A classificação funcional, de seguida apresentada, admite três níveis, aos quais se acrescentou um quarto relacionado com a função de isolamento térmico.

Quadro 1 – Revestimentos exteriores de paredes (Fonte: Acção de Formação sobre Revestimentos exteriores de paredes, Maria do Rosário Veiga, 2004)

Classificação Funcional	Tipos Principais de Revestimentos exteriores de Paredes usados no nosso país
Revestimentos de Estanquidade	Placas de pedra natural fixadas mecanicamente ao suporte, com lâmina de ar
	Placas de outros materiais (fibrocimento, materiais plásticos, materiais cerâmicos) fixadas mecanicamente ao suporte, com lâmina de ar
	Revestimentos de ligante sintético armados.
Revestimentos de Impermeabilização	Rebocos tradicionais
	Rebocos pré-doseados (monocamada ou outros)
	Revestimentos de ligante misto (cimento e resina)
	Revestimentos de ligante sintético
Revestimentos de Isolamento Térmico	Revestimentos por elementos descontínuos independentes com isolante na caixa-de-ar
	Revestimentos por componentes isolantes
	Revestimentos aplicados sobre isolante (ETICS)
Revestimentos de acabamento ou decorativos	Revestimentos por elementos descontínuos colados ou fixados mecanicamente sem lâmina de ar (ladrilhos, azulejos)
	Revestimentos por pintura



As fotografias 3 e 4 apresentadas de seguida exemplificam genericamente duas das situações seriadas no Quadro 1.



Fotografia 3 – Revestimento de placas de pedra com isolante na lâmina de ar (Fonte: Acção de Formação sobre Revestimentos exteriores de paredes, Maria do Rosário Veiga, 2004)



Fotografia 4 – Sistema de isolamento térmico pelo exterior com revestimento aplicado sobre isolante (tipo ETICS) (Fonte: Acção de Formação sobre Revestimentos exteriores de paredes, Maria do Rosário Veiga, 2004)

De seguida sintetizam-se mais pormenorizadamente as características de cada revestimento acima enunciado.

- **Os Revestimentos de Estanquidade** garantem a estanquidade da parede à água da chuva. Deste modo, mesmo que a parede esteja fendilhada, o revestimento deve conseguir evitar a entrada de água para o interior. Contudo, este critério não é absoluto. Por exemplo os revestimentos de impermeabilização de ligante sintético (correntemente conhecidos por membranas elásticas), mesmo armados, só mantêm a estanquidade da parede até um certo limite de fendilhação do suporte ( aberturas de fendadas entre 3 a 5mm)
- **Revestimentos de Impermeabilização** – Apesar de não assegurarem a estanquidade, dão uma contribuição significativa ao toco da parede. Nestes casos, se a parede não tiver boas condições de estanquidade ou se estiver fendilhada, o revestimento não chega para evitar a entrada de água. A título meramente exemplificativo refira-se que os vulgares rebocos são “apenas” revestimentos de impermeabilização, pelo que é bom começarmos a olhar para o que está por detrás deles quando detectamos infiltrações de água.

- **Revestimentos de Isolamento Térmico** – Têm como função principal o isolamento térmico. No que diz respeito à capacidade de protecção contra a água, são, em geral, de estanquidade (ETICS ou painéis fixados mecanicamente à parede, com caixa-de-ar), ou de impermeabilização.
- **Acabamento** – Neste tipo de acabamentos é pouco significativa a contribuição para a estanquidade à água. Neste campo podem incluir-se as tintas que, ao contrário do que o senso comum pensa, não é o que evita as infiltrações (a não ser que se trate de uma “membrana elástica”). Estes revestimentos são resistentes à água, mas não são impermeáveis nem impermeabilizam uma fachada.

### 1.3.3.EXIGÊNCIAS ESSENCIAIS

A esta classificação funcional deverão sempre ser associadas seis exigências essenciais para os produtos, materiais e sistemas a utilizar na construção de edifícios que, neste caso, foram estabelecidas pela Directiva dos Produtos da Construção:

- Estabilidade (EE1)
- Segurança contra riscos de incêndio (EE2)
- Higiene, saúde e ambiente (EE3)
- Segurança no uso (EE4)
- Protecção contra o ruído (EE5)
- Economia de energia (EE6)

A durabilidade e a adequabilidade ao uso são, por seu lado, propriedades essenciais para que as exigências referidas façam sentido.

As exigências essenciais são aplicáveis à fachada como um todo, mas os revestimentos têm que dar o contributo necessário em cada caso em estudo. Cada tipo de revestimento tem de obedecer a determinados pré requisitos para desempenhar as funções que lhe são atribuídas, para que a fachada em que estão aplicados possa satisfazer as exigências essenciais supracitadas.

Algumas das exigências essenciais como a EE1 e a EE2 estão fundamentadas por regulamentos. Noutros casos, como a EE3 e EE4 em que não existem normas desse tipo, é mais difícil definir exigências. A EE3 pode implicar características como, por exemplo, contacto não-agressivo e ausência de emissões tóxicas ou poluentes; a EE4 implica reduzida permeabilidade à água; elevada permeabilidade ao vapor de água; reduzida susceptibilidade à fendilhação; reduzida tendência para aderência de sujidades; facilidade de limpeza; ou ainda a durabilidade que pode implicar resistência à água; compatibilidade química com o suporte; resistência à fendilhação; resistência aos choques.

Assim, a definição das exigências a fazer e o estabelecimento dos métodos de as verificar, para tipos diversificados de revestimentos e para situações variáveis, surge, por vezes, como uma tarefa complexa. Em muitos casos, existem normas ou documentos normativos, portugueses, estrangeiros ou internacionais, de definição de métodos de ensaio para quantificar algumas características. Contudo, são menos frequentes os documentos que estabelecem os valores limites das características que podemos considerar aceitáveis com vista a avaliar a boa qualidade dos revestimentos e da sua adequabilidade ao uso.



Face a um conjunto de valores obtidos em ensaios e perante a incerteza de um revestimento ser ou não adequado a uma dada situação urge recorrer a normas europeias harmonizadas que estabelecem alguns requisitos mínimos face às exigências essenciais para alguns tipos de revestimentos de paredes.

Pode também consultar-se os Guias Europeus de Aprovação Técnica que abrangem um outro conjunto de produtos (nos quais se incluem os ETICS) permitindo a Aprovação Técnica Europeia em qualquer dos Países da EU, segundo regras comuns a todos.

Nos casos que não são cobertos nem por Normas Harmonizadas nem por Guias Europeus, a figura da Homologação pode ser um auxiliar importante para os técnicos, já que se constitui como um parecer favorável do LNEC sobre a adequabilidade ao uso de um revestimento (neste caso), tendo em conta explicitamente todos os factores referidos e ainda outros que o não foram, como as condições de fabrico e as condições de aplicação em obra. Além disso define o campo de aplicação e caracteriza o revestimento em causa. [9]

#### 1.3.4. NÍVEL DE MANUTENÇÃO

##### 1.3.4.1. Considerações

A avaliação do nível de manutenção deverá ser considerada para todos os produtos de construção acessíveis a acções de manutenção, reparação ou substituição. Surge aqui num contexto associado à sustentabilidade na medida em que desempenhos mais satisfatórios do revestimento de fachadas levam a menores necessidades de substituição assim como a todos os custos a este facto associados. Assim, os produtos da construção submetidos a acções decorrentes da utilização normal devem apresentar durante a sua vida útil, um aspecto idêntico ao inicial.

##### 1.3.4.2. Classificação do nível de manutenção

Entende-se por acções de manutenção, de acordo com a Directiva Europeia dos produtos da construção, operações de limpeza, lavagens, reparações e substituições de determinados produtos da construção.

Deste modo, para permitir avaliar a necessidade de manutenção e a facilidade de reparação, foi adoptada a classificação reVETIR proposta pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSBT). [10]

A referida classificação é divisível em dois grupos:

Grupo I referente às duas primeiras letras “r” e “e” onde se avalia a conservação;

Grupo II referente às restantes cinco letras “V”, “E”, “T”, “I” e “R” onde se avalia a aptidão de utilização em diferentes circunstâncias.

As características avaliadas são as seguintes:

#### **Grupo I**

r – Facilidade de reparação

e – Necessidade de manutenção

#### **Grupo II**

V – Resistência ao vento

E – Estanquidade à água

T – Resistência aos choques

I – Reacção ao Fogo

R – Resistência térmica

A proposta é específica para a avaliação de sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, mas a especificidade da avaliação a este tipo de sistema reside nos critérios apresentados no Grupo II. Os critérios de avaliação pertencentes ao Grupo I referem-se a uma classificação de âmbito mais genérico e que por isso são passíveis de aplicação a diferentes produtos da construção. [11]

#### **1.4. PANORAMA ACTUAL SOBRE O TEMA DO REVESTIMENTO DE FACHADAS**

Os revestimentos da fachada devem apresentar as propriedades para os fins a que se destinam: a protecção e vedação da edificação contra a acção de agentes externos agressivos e o efeito estético e de valorização patrimonial de acordo com a nobreza e custo do material. [12]

Ao longo de muitos anos o revestimento de fachadas foi apenas encarado como algo que cobrisse a parede exterior mas apenas com um intuito puramente estético e que visasse durabilidade para que a fachada não fosse constantemente substituída, evitando-se maiores gastos financeiros. Porém, até agora, esses revestimentos não se preocupavam com o conforto térmico do utente deixando essa tarefa a cargo de isolantes, da parede em si e dos seus constituintes. Contudo, este trabalho visa procurar soluções sustentáveis para revestimentos de fachada de modo a encontrar não só o conforto térmico, como todos os conceitos relativos à sustentabilidade ambiental.

Actualmente esta área ainda não está suficientemente desenvolvida, apesar de existirem já alguns estudos sobre o tema.

A arquitectura bioclimática nos edifícios tem sido já alvo de investigação assim como a geometria solar, orientação de fachadas, estratégias bioclimáticas e até a inserção de um edifício mais ecológico dentro da sua área circundante, com vista à criação de cidades mais sustentáveis no âmbito da redução do consumo energético e da produção de resíduos. Todos estes temas são de extrema relevância para proporcionar um maior conforto térmico ao utente, com vista a racionalizar o uso de equipamentos mecânicos, tirar partido dos ganhos energéticos e, através de medidas simples mas bem estudadas permitir alcançar um mais elevado nível de desenvolvimento sustentável.

Essas noções apontam, no caso dos edifícios, para uma adaptação destes às condições ambientais das cidades, visando a incorporação de medidas de poupança energética, como forma de contrabalançar as transformações das características térmicas do ambiente urbano. Todas essas pesquisas realizadas até ao momento apresentam ideias e noções mais viradas para o edifício como um todo do que para o revestimento de fachadas em si e a maneira como este pode ser aperfeiçoado no contexto do invólucro da habitação.

É assim, possível perceber que nenhum dos estudos encontrados e consultados se debruça particularmente sobre a relação dos revestimentos de fachadas e da envolvente arquitectónica para a qualificação microclimática do edifício. O conhecimento existente até agora apresenta um carácter mais global. O tema carece, contudo, de uma abordagem mais específica e direccionada, a fim de possibilitar um aprofundamento do mesmo e uma aplicação prática das suas noções, até ao momento lançadas. De igual modo, é necessária a investigação de mais casos práticos, que permitam conhecer que variáveis estão em jogo e o modo efectivo como estas poderão ser abordadas, no âmbito do tratamento dos problemas suscitados pelo tema em questão e seu desenvolvimento.

Actualmente, no sector nacional da construção, no que toca à área dos revestimentos, o problema põe-se pelo menos a dois níveis: o da sua composição química e consequentemente do seu impacto directo sobre a saúde e sobre o ambiente (ciclo de vida energético e qualidade do ar) e da sua função, ou seja, em que medida é que o revestimento contribui para que a componente construtiva que complementa,

tenha melhor desempenho, numa consequência indirecta – ou seja um impacte indirecto sobre a saúde e sobre o ambiente.

A legislação europeia sobre a certificação ambiental de materiais de construção começa a sentir-se também no sector dos revestimentos para a construção o que de certa forma vem ao encontro de melhorar o primeiro nível acima referido. Não invalida, no entanto, que continuemos com acesso fácil a inúmeros materiais de revestimento com características que não são benéficas para a nossa saúde e muito menos para o ambiente. [13]

Em relação ao segundo nível, serão directivas como a do desempenho energético dos edifícios que poderão ter algum impacto positivo. No entanto é uma área que deixa algo a desejar em muitíssimos países e que também tem um impacto, mesmo que indirecto, sobre a nossa saúde e sobre o ambiente.

Na aplicabilidade de um revestimento sustentável deve-se referir dois elementos-chave: a sua complexidade e a sua pluralidade. Não existe um só tipo de revestimento sustentável como se de uma ‘receita gastronómica’ se tratasse. Cada caso é um caso; e, é a partir do local de implantação, da sua avaliação, do perfil do cliente e das necessidades do projecto, que se definirá o melhor revestimento que conduzirá à maior sustentabilidade dessa fachada.

Adaptar uma obra a um projecto que não tenha tido em conta localização, ambiente adjacente, condições climatéricas, temperaturas, exposição solar, radiação, ventos e sua direcção dominante e outros factores bioclimáticos é, desde o início, violar princípios de sustentabilidade.

## **1.5. PROBLEMAS, NECESSIDADES E SOLUÇÕES RELATIVAS AO INVÓLUCRO EXTERNO DOS EDIFÍCIOS – A LEGISLAÇÃO PORTUGUESA E O ENQUADRAMENTO EUROPEU.**

### **1.5.1. REGULAMENTOS**

A performance térmica dos edifícios através do seu isolamento, ventilação escassa e iluminação artificial exagerada são actualmente alguns dos maiores problemas observados nos edifícios portugueses. No que diz respeito às variáveis ambientais e micro climáticas, as construções edificadas antes da aplicação de regulamentos (1991) não foram desenhadas como sendo compatíveis com o ambiente local e, como consequência, mostram uma performance térmica pobre e vários tipos de patologias.

Cerca de 80% dos edifícios actualmente existentes foram erigidos antes de 1991, anteriormente à publicação do primeiro regulamento sobre térmica de edifícios, o RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro). Como tal, os edifícios não apresentavam qualquer exigência térmica, sendo o seu comportamento térmico inadequado na maioria dos casos. Este documento tinha intenção de melhorar a qualidade térmica da envolvente da edificação, melhorar as condições de higiene, sem aumentar o consumo de energia que era efectivamente necessária para proporcionar o conforto térmico do utente (aquecimento e arrefecimento) e promover o uso de isolamento e medidas solares passivas. Até essa data o valor de U (coeficiente de transmissão térmica de um elemento com uma dada espessura que representa a quantidade de calor que o atravessa perpendicularmente, por unidade de tempo e superfície, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário entre as suas faces) do envelope da edificação era muito alto porque não era usado qualquer tipo de isolamento, tendo sido imposto nesse regulamento a definição de um valor máximo de U. Este foi sendo diminuído graças à introdução de materiais de isolamento mais comuns usados no envelope como o poliestireno extrudido, a lã de rocha e a espuma de poliuretano.

Na figura 1 é possível observar a evolução das fachadas com principal incidência na diferença entre a década de 90 e as anteriores onde não era usado isolamento térmico.

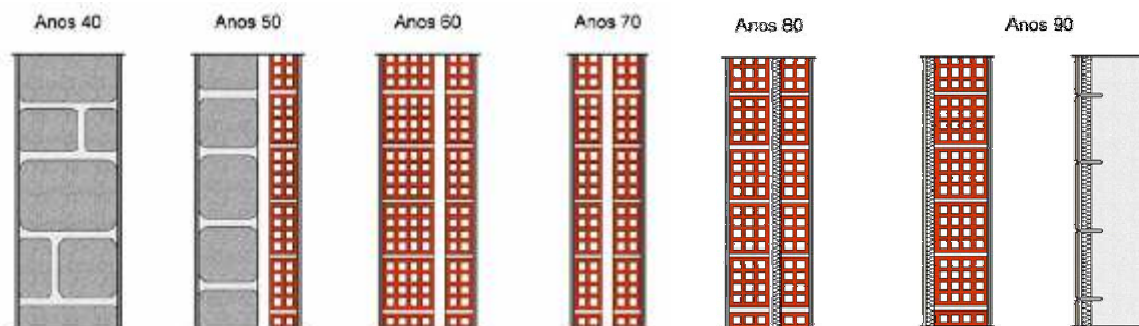


Figura 1 – Evolução das fachadas em Portugal (Fonte: apontamentos de Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP 2008)

Há presentemente um grande esforço em reabilitar termicamente as fachadas usando o regulamento e com vista a reduzir a energia consumida do edifício em quase 50%. Algumas das principais modificações passam pela substituição de molduras de janelas com soluções que melhorem o valor de U, assim como a aplicação de uma solução de isolamento térmico exterior (ETICS) ou ainda o uso obrigatório de vitrificação dupla nas zonas mais frias. Para as orientações sem significantes lucros solares será necessário considerar a contribuição de sistemas solares passivos ou ainda a introdução de *curtain walls* ventiladas.

Em edificações erigidas após 1991, o principal problema diz respeito às pontes térmicas que aumentam o consumo de energia e causam patologias no edifício (humidade de condensação) e a longo prazo problemas de saúde. Este problema pode ser solucionado com o melhoramento do isolamento e com o controlo da ventilação.

Até essa data (1991) não havia problemas relevantes relacionados com a qualidade do ar interior: a qualidade das janelas era muito pobre e a ventilação do ar interior estava garantida. Porém, com a preocupação crescente do consumo de energia, o envelope começou a ser melhor fechado e como tal gerou-se uma falta de ventilação que originou o aparecimento de condensações, pontes térmicas e sobreaquecimento no verão. Os aspectos mais importantes deste problema recaem sobre o desconforto dos habitantes, problemas de saúde, problemas com a humidade e a degradação dos materiais de construção.

A aplicação de medidas solares activas e passivas nos edifícios não tem sido uma preocupação principal para engenheiros e arquitectos na construção tradicional em Portugal. Há escassos exemplos do uso deste tipo de estratégias. No regulamento térmico não há incentivos para o uso destes tipos de estratégias. Somente na revisão do regulamento de Abril de 2006 estas tecnologias são obrigatórias. Presentemente o governo português já disponibiliza, nesta área, um conjunto de incentivos fiscais para facilitar o acesso e dinamizar o incremento da energia solar térmica em Portugal.

- IRS (Imposto sobre o Rendimento Singular) - No Orçamento de Estado de 2007, artigo 85º, são dedutíveis à colecta deste imposto 30% das importâncias despendidas com a aquisição de equipamentos solares novos, com o limite máximo de 761 €.

- IRC (Imposto sobre o Rendimento Colectivo) - O Despacho Regulamentar nº 22/99, de 6 de Outubro, estipula um período mínimo de vida útil de 4 anos do sistema solar, para efeitos de reintegração e amortização do investimento. Esta medida permite uma redução no IRC anual, acumulável com outros incentivos, que pode ter um impacte substancial na recuperação do investimento. Os beneficiários são as empresas privadas e públicas, as cooperativas e as demais pessoas colectivas de direito público ou privado.
- IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado - De acordo com a Lei nº 109-B/2001, de 27 de Dezembro, os equipamentos específicos para a captação e aproveitamento da energia solar estão sujeitos à taxa intermédia de 12%.

Paralelamente a maioria das instituições bancárias oferecem crédito individual para a compra de produtos indiferenciados de consumo, inclusive sistemas solares.

A aplicação de medidas solares activas ou passivas em edifícios não é um assunto principal dos arquitectos ou os engenheiros que projectam edifícios tradicionais e convencionais em Portugal; há muito poucos exemplos do uso desta espécie de estratégias.

O novo RCCTE (Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril) define requisitos de qualidade para novos edifícios de habitação e pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível de isolamento de paredes e pavimentos, tipo de coberturas e superfícies vidradas, limitando perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites para as necessidades de energia para climatização e produção de águas quentes, com a obrigatoriedade da instalação de sistemas de energia solar e valorizando a utilização de outras fontes de energia renovável. O documento pretendeu impor a melhoria da qualidade térmica dos envelopes de edifícios como uma estratégia para incrementar o conforto interno sem aumentar o consumo de energia.

Em Portugal há ainda outro regulamento relativo ao conforto térmico: o RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios, cuja primeira versão surgiu em 1998 (Decreto-Lei nº 118/98, de 7 de Maio) e a mais recente revisão em 2006 (Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril).

O RSECE (Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril), veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços.

Neste regulamento, a qualidade interior do ar surge também com requisitos relativamente aos caudais mínimos do ar interior por tipo de actividade e a concentrações máximas dos principais poluentes (edifícios existentes). Pretende evitar o excesso de sistemas de climatização com vista a reduzir e racionalizar os consumos de energia, recuperação de calor e medidas passivas de arrefecimento.

#### 1.5.2. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFICAÇÕES

Existem à escala Europeia e à escala Mundial diversos Sistemas de Avaliação e Certificação da Sustentabilidade de Edificações. Os mais reconhecidos são sem dúvida o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method – Reino Unido) e o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design - EUA). Em Portugal este último é o sistema de avaliação e certificação mais respeitado e reconhecido.

O USGBC (“United States Green Building Council”), uma organização sem fins lucrativos norte americana, dedicada à promoção do desenvolvimento ambiental responsável, saudável e rentável dos

edifícios, desenvolveu um programa chamado Liderança em Energia e Desenho Ambiental (LEED), que é essencialmente um sistema de avaliação pelo qual um edifício "verde" é avaliado. Este sistema foi lançado no ano 2000 como uma linha guia, mas ficou rapidamente uma marca de referência do desenho e do desenvolvimento de projectos ambientalmente amistosos.

Dentro do LEED, há programas específicos, inclusivamente para as novas construções, operações em edifício existentes e sua manutenção, casas e projectos específicos tais como edifícios universitários.

O mérito ambiental que este certificado avalia depende do desempenho relativamente a 5 áreas-chave de impacto são elas:

- Eficiência energética
- Selecção de materiais
- Economia de água
- Desenvolvimento sustentável
- Qualidade do ar interno

Para cada área de impacto relevante define pré-requisitos (indispensáveis à obtenção de qualquer grau de mérito) e requisitos (a conformidade com os requisitos permite a obtenção de pontos que são a base da classificação final) [14]:

- “Certified”: 23 – 27 pontos (+ pré-requisitos)
- “Silver”: 28 – 33 pontos (+ pré-requisitos)
- “Gold”: 34 – 44 pontos (+ pré-requisitos)
- “Platinum”: +44 pontos (+ pré-requisitos)

O número máximo de pontos possível é de 61.

Em Portugal este tipo de abordagens ainda é residual, sendo que a maioria das vezes não existe qualquer estratégia ambiental e, quando existe, é pouco fundamentada. Mas a nível internacional a apetência por estas metodologias é crescente...

Contudo, o assunto da sustentabilidade no edificado é ainda um assunto complexo e multidisciplinar mas cuja relevância tem vindo a motivar o desenvolvimento de várias ferramentas para suportar a definição de estratégias de intervenção.

## 2

## ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

## 2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as bases essenciais para a criação de estratégias arquitectónicas bioclimáticas a aplicar em edifícios, numa perspectiva de adequação às condições climáticas do ambiente em que se inserem. Sendo a habitação um espaço onde se desenvolve uma série de actividades humanas, é necessário recorrer a conhecimentos oferecidos pela tecnologia da construção, conhecimento estético, ética e história para buscar a satisfação dos desejos do usuário.

Segundo Hélder Gonçalves e João Mariz Graça [15], o conceito de “Arquitectura Bioclimática” pode ser definido como uma arquitectura que, na sua concepção, aborda o clima como uma variável importante no processo projectual, relevando o sol, na sua interacção com o edifício, para um papel fundamental no mesmo. Os seus conceitos fundamentais, constituem um conjunto de regras simples, que visam compreender quais as variáveis climáticas relevantes prevalentes em cada local, sol, vento e água, e como essas variáveis podem interagir com o edifício de forma positiva.

Neste âmbito procura-se então promover uma melhoria das condições de conforto ambiental no interior do edifício, recorrendo apenas ao *design*, aos elementos arquitectónicos disponíveis e ao revestimento de fachadas. Os edifícios são construídos para aumentar a qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e na sua envolvente. A arquitectura bioclimática procura ainda integrar as características da vida e do clima locais, buscando consumir a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental. Funciona assim como um instrumento que permite manter a viabilidade de um “equilíbrio saudável” na construção, na medida em que racionaliza tanto os recursos utilizados como os resíduos produzidos legando um mundo menos poluído para as gerações futuras.

Um outro aspecto que a arquitectura bioclimática privilegia é a utilização dos materiais locais na construção, o que permite uma diversificação e uma exploração limitada de cada tipo de material. Há também que ter em conta o clima do local em que o edifício está inserido. Exemplos deste tipo de construção são visíveis em algumas casas no Alentejo (Portugal), em que o facto de se disporem todas em banda, com ruas estreitas, permite um maior sombreamento. As respectivas paredes, grossas e pintadas de branco, permitem uma maior inércia térmica do edifício e uma menor absorção da radiação solar. Outro exemplo bastante conhecido é o das casas nórdicas onde a inclinação acentuada dos telhados, evita a permanência e acumulação de neve. A fotografia 5 procura ilustrar a situação descrita.

Qualquer dos exemplos ilustra casos em que com medidas muito simples se promove o conforto tanto de Inverno como de Verão. Percebe-se assim que um edifício bioclimático não tem de envolver

despesas acrescidas visto não precisar de complicados dispositivos tecnológicos. O seu sucesso depende apenas da experiência, dos conhecimentos e da criatividade do seu projectista.



Fotografia 5 – Casas alentejana e inclinação dos telhados nos países nórdicos (Fonte: skyscrapercity, 2007)

Uma conceituação actual e abrangente sobre o tema é dada pela arquitecta Mülfarth [16]. *“É uma forma de promover a busca pela igualdade social, valorização dos aspectos culturais, maior eficiência económica e menor impacto ambiental nas soluções adoptadas nas fases de projecto, construção, utilização, reutilização e reciclagem da edificação, visando a distribuição equitativa da matéria-prima e garantindo a competitividade do homem e das cidades.”* Devido à crescente importância do assunto é necessário haver programas impulsionadores com forte impacto que sensibilizem e encorajem os cidadãos para a temática com o objectivo de conduzir a uma maior sustentabilidade e eficiência na exploração dos edifícios, e por consequência uma maior autonomia energética do país e uma maior preservação ambiental.

Lanham [17] amplia o conceito de arquitectura bioclimática introduzindo o de Eficiência da Energia: *“A arquitectura bioclimática, pode ser definida como a projecção e construção de um edifício tendo em conta a análise do contexto climático em que este se insere, promovendo consequentemente uma melhoria das condições de conforto e uma minimização do consumo energético”*. O desempenho energético é entendido como a quantidade de energia efectivamente consumida ou calculada para satisfazer as diferentes necessidades associadas à utilização normalizada do edifício. [18]

A necessidade de pensar em desempenho energético resulta do facto de, em média, 90% do nosso tempo ser passado dentro de edifícios. Em resultado disto, as queixas relativamente aos gastos em energia e aquecimento dos edifícios cada vez mais avultados, levam a que se tome consciência económica e também social de que alguma medida tem de ser tomada com vista a criar edificações energeticamente mais eficientes. Urge então uma intervenção na habitação por parte de todos, de modo a maximizar os níveis de conforto, qualidade do ar interior, aumentar a eficiência energética dos edifícios inovando na concepção e combinando harmoniosamente as diferentes soluções disponíveis de acordo com o clima e regime de ocupação definido.

Assim sendo é preciso criar e desenvolver as capacidades específicas dos projectistas, engenheiros e arquitectos, de modo que incluam uma análise ecologicamente responsável da construção do edifício, do seu funcionamento durante a sua vida útil e da sua eliminação final. Com a nova legislação em vigor todos os edifícios vão estar sujeitos a limites máximos de consumo de energia para aquecimento



e arrefecimento ambiental. Torna-se assim necessário construir melhor e de um modo mais racional com menos ganhos e perdas de energia térmica. Aproveitar a capacidade de armazenamento térmico dos materiais de construção, o recurso a energias renováveis e materiais recicláveis fazem com que esta ambição progrida.

## 2.2. CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS – REFLEXÃO CRÍTICA

Construção Sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender às necessidades de edificação, habitação e uso do Homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações actuais e futuras. Baseia-se no desenvolvimento de um modelo que enfrente e proponha soluções aos principais problemas ambientais de sua época, sem renunciar à moderna tecnologia e à criação de edificações que atendam as necessidades de seus usuários. Trata-se de uma visão multidisciplinar e complexa, que integra diferentes áreas do conhecimento a fim de reproduzir a diversidade que compõe o mundo. A Construção Sustentável edifica microcosmos. No seu arcabouço teórico encontram-se conhecimentos de arquitectura, engenharia, paisagismo, saneamento, química, electricidade, electrónica, mas também de antropologia, biologia, medicina, sociologia, psicologia, filosofia e história.

Ter-se-á então de fazer com que toda edificação seja sustentável para torná-la simultaneamente saudável pois a finalidade de uma construção deste tipo não é apenas preservar o meio ambiente, mas também proteger os seus ocupantes ou moradores, da poluição dos grandes centros urbanos. Na presente monografia, ao procurarmos um revestimento de fachadas sustentável, devemos pensar no seu funcionamento como uma segunda pele do morador ou usuário, a sua extensão. A edificação deve funcionar como um ecossistema particular. Assim como no planeta Terra, as interações no interior e entorno da eco-habitação devem reproduzir ao máximo as condições do meio: humidade relativa do ar adequada para o ser humano, temperatura estável, sensações de conforto, segurança e bem-estar.

Quanto mais sustentável se revelar uma obra, mais responsável ela será por tudo o que consome, gera, processa e elimina. A sua característica mais marcante deverá ser a capacidade de planear e prever todos os impactos que pode provocar, antes, durante e depois do fim de sua vida útil (já no processo de demolição).

A construção sustentável intersecta-se intrinsecamente ao nível da concepção do edifício com os conceitos bioclimáticos referidos no capítulo anterior. Segundo Isabel Santos [19], trata-se de *“promover a melhoria da eficiência em sustentabilidade, não só energética, mas antes de economia dos recursos fósseis”* (que inclui processos de minimização dos consumos de água ou aproveitamento de águas residuais e pluviais, por exemplo), ou seja, baseia-se em soluções passivas, isto é, soluções que não requerem a aplicação de tecnologias elaboradas e minimizam sempre o uso de tecnologias activas para evitar o consumo de recursos fósseis.

A construção sustentável moderna, num ideal de perfeição, deve almejar a sua auto-suficiência ou mesmo a sua auto-sustentabilidade. Esta é a capacidade de manter-se a si mesma, atendendo às suas próprias necessidades, gerando e reciclando seus próprios recursos a partir do seu sítio de implantação. É este o estágio mais elevado da construção sustentável.

As directrizes gerais para edificações sustentáveis podem ser resumidas em nove passos principais, que estão em conformidade com o que recomendam os melhores sistemas de certificação no mundo, as já anteriormente referidas BREEAM (Inglaterra), LEED (Estados Unidos) ou ainda a título meramente exemplificativo as Green Star (Austrália) e HQE (França).

Cada um destes passos é imprescindível para se chegar a uma obra sustentável e, no limite, auto-sustentável, assim como, no corpo humano não se pode prescindir de nenhum dos órgãos vitais.

Em síntese, o conjunto dos passos para a construção sustentável caracteriza-se por:

- Planeamento do ciclo de vida da edificação - ela deve ser económica, ter longa vida útil e conter apenas materiais com potencial para, no término de sua vida útil (demolição), serem reciclados ou reutilizados. A sua meta ideal deveria ser o resíduo zero;
- Aproveitamento passivo dos recursos naturais – como o sol, humidade, vento ou vegetação para promover conforto e bem-estar dos ocupantes e integrar a habitação com o entorno, além de economizar recursos finitos, como energia e água;
- Eficiência energética – resolver ou atenuar as demandas de energia geradas pela edificação;
- Gestão inteligente da água – economizar a água; tratá-la localmente e reciclá-la, além de aproveitar recursos como a água da chuva;
- Gestão dos resíduos na edificação - usar materiais que não comprometam o meio ambiente ou a saúde dos ocupantes e que contribuam para promover um estilo de vida sustentável e a consciência ambiental dos indivíduos;
- Qualidade do ar e do ambiente interior - criar um ambiente interno e externo com elevada qualidade no que toca à paisagem local e qualidade atmosférica e eléctrica do ar ;
- Conforto termo-acústico - prover saúde e bem-estar aos seus ocupantes ou moradores e preservar o meio ambiente;
- Uso racional de materiais - resolver com materiais do local e minimizar a geração de resíduos;
- Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis - estimular um novo modelo económico-social, que crie e dinamize empresas de produtos e serviços sustentáveis e dissemine consciência ambiental entre colaboradores, fornecedores, comunidade e clientes.

Segundo o projecto europeu Action COST 25, o ciclo completo das actividades da construção sustentável compreende a maneira na qual as estruturas construídas são procuradas, erigidas, usadas, mantidas, reparadas, modernizadas, reabilitadas e finalmente desmanteladas e demolidas ou re-usadas e recicladas. Em comparação com outros produtos industriais, os produtos da construção têm longa duração. Segundo o arquitecto e pesquisador colombiano Javier Barona [20], a ferramenta básica para a identificação do estado e das necessidades gerais de uma obra que se pretende sustentável é a Análise de Ciclo de Vida. O estudo da Análise de Ciclo de Vida (ACV) tem sido aceite por toda a comunidade internacional como a única base legítima de comparar materiais, tecnologias, componentes e serviços utilizados ou prestados.

A eficiência energética nas edificações associada à construção sustentável, é a forma mais ambientalmente benigna de aumentar a eco eficiência na construção. Sob o ponto de vista da união europeia, é um dos três problemas chave identificados como área onde é necessária uma acção interventiva. A influência da “Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD) deverá ser crescente e aqui sistemas técnicos e revestimentos de fachadas são especialmente críticos. De um ponto de vista relacionado com o produto as acções incluem desenho e venda de mais produtos energeticamente eficientes que usem menos, novos ou diferentes materiais com uma produtividade superior. O melhoramento da eficiência energética traz também vários benefícios à sustentabilidade urbana. Em síntese pode dizer-se que a moderna Construção Sustentável promove intervenções sobre o meio ambiente, adaptando-o para suas necessidades de uso, produção e consumo humano, sem

esgotar os recursos naturais, preservando-os para as gerações futuras que deverão fazer uso de eco-materiais e de soluções tecnológicas e inteligentes para promover o bom uso e a economia de recursos finitos (água e energia eléctrica), a redução da poluição e a melhoria da qualidade do ar no ambiente interno e o conforto de seus moradores e usuários.



Figura 2 – Materiais potencialmente recicláveis – Garrafas PET e latas

Segundo Márcio Augusto Araújo [21] importa ainda gerar habitações que preservem o meio ambiente em harmonia simbiótica com as soluções locais para problemas por elas mesmas criados. Essas construções deverão caracterizar-se pelo uso de materiais e tecnologias que sejam biocompatíveis, que melhoram as condições de vida dos moradores ou, no mínimo, não agredam o meio ambiente no seu processo de obtenção e fabricação, nem durante a aplicação e na sua vida útil. Alguns exemplos desse tipo de construções, remetem-nos para:

- Construção natural – É o sistema construtivo mais ecológico, portanto, mais próximo da própria natureza, uma vez que respeita o seu ambiente circundante; usa materiais disponíveis no local da obra ou adjacências (terra, madeira etc.); utiliza tecnologias sustentáveis de baixo custo (apropriadas) e desperdiça o mínimo de energia em seus processos. É um método adequado principalmente para áreas rurais ou para áreas que permitam boa integração com o entorno, onde haja pouca dependência das habitações vizinhas e das redes de água, luz e esgotos construídas pelo poder público.
- Construção Verde - *Green buildings* - Nos últimos anos, uma nova concepção de edificações surgiu no mercado da construção para melhorar a qualidade real do ambiente construído: são os projectos denominados *green buildings*. Trata-se de um edifício de alto desempenho ambiental, projectado com quatro características muito bem definidas: a redução do consumo de energia e dos custos de operação e manutenção, a redução do uso de recursos não-renováveis, a minimização dos impactos negativos na qualidade do ar interno e o aumento da saúde dos ocupantes do edifício. Esses projectos também favorecem a produtividade dos ocupantes, facilitam a circulação e os acessos, permitem a mobilidade e a flexibilidade de layouts.

Convém não esquecer que, a par do terrorismo, o problema do ambiente foi recentemente considerado, a nível mundial, o principal factor de preocupação da próxima década. A construção sustentável pode dar algumas respostas a este problema.

## 2.3. CONCEITOS BIOCLIMÁTICOS NA ARQUITECTURA

### 2.3.1. A ENERGIA SOLAR E OS EDIFÍCIOS

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. [15]

A primeira ocasiona o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, fundamentalmente no período de Inverno, originando assim as denominadas perdas térmicas, enquanto que no Verão o sentido do fluxo inverte-se, gerando uma situação de ganhos térmicos. Medidas eficazes como isolamento térmico ou utilização de vidros duplos, podem ser levadas a cabo para reduzir essas perdas com o intuito de melhorar as condições de conforto no interior do edifício. Por outro lado deve evitar-se a situação de ganhos térmicos no Verão, quando estes não contribuem para um melhor conforto interno na edificação e levam a um aumento da carga térmica do edifício e consequentemente da sua temperatura interna.

Os revestimentos da fachada exterior dos edifícios estão sujeitos a amplitudes térmicas que podem atingir, ao longo do ano, valores superiores a 50 °C. Assim, para além da temperatura do ar, a intensidade da radiação solar a que os materiais do invólucro externo do edifício estão sujeitos, também assume um cariz relevante dado que a superfície exterior de um produto exposto à radiação solar vai apresentar valores de temperatura superiores à temperatura ambiente. [11]

A figura seguinte apresenta as zonas de Portugal Continental onde a incidência da radiação solar é mais significativa.

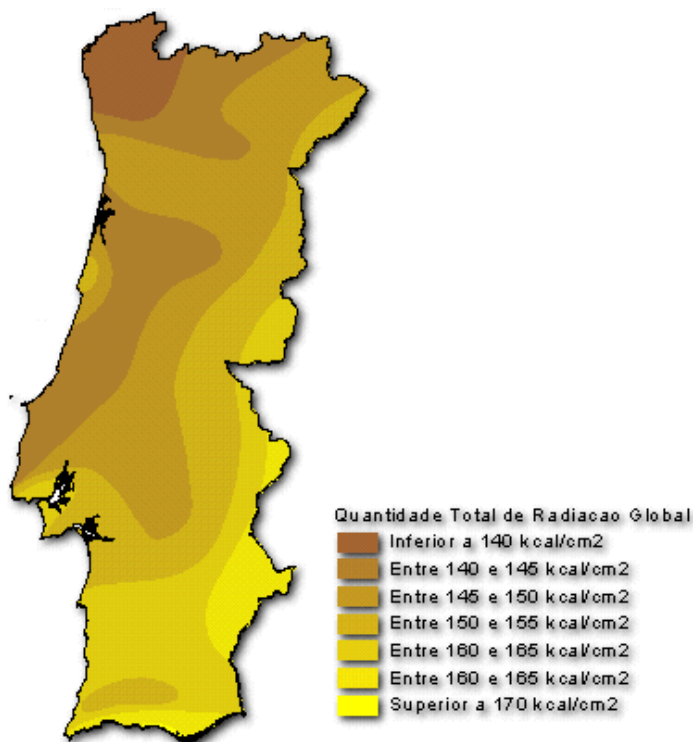


Figura 3 - Radiação Solar média anual em Portugal Continental (Fonte: <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>)

Como mostra a figura, a radiação solar média em Portugal aumenta do litoral para o interior e, principalmente, de norte para sul.

### 2.3.2. GEOMETRIA SOLAR

É importante conhecer as diferentes trajetórias aparentes do sol ao longo do dia para as diferentes estações do ano no sentido de aproveitar da melhor forma os ganhos solares para o interior do edifício nos casos em que o contributo da radiação se afigura necessário e restringir a sua entrada, nos casos em que o mesmo efeito se afigura inconveniente. A Figura 4 representa a trajetória aparente do sol durante o dia e ao longo do ano para o Hemisfério Norte.

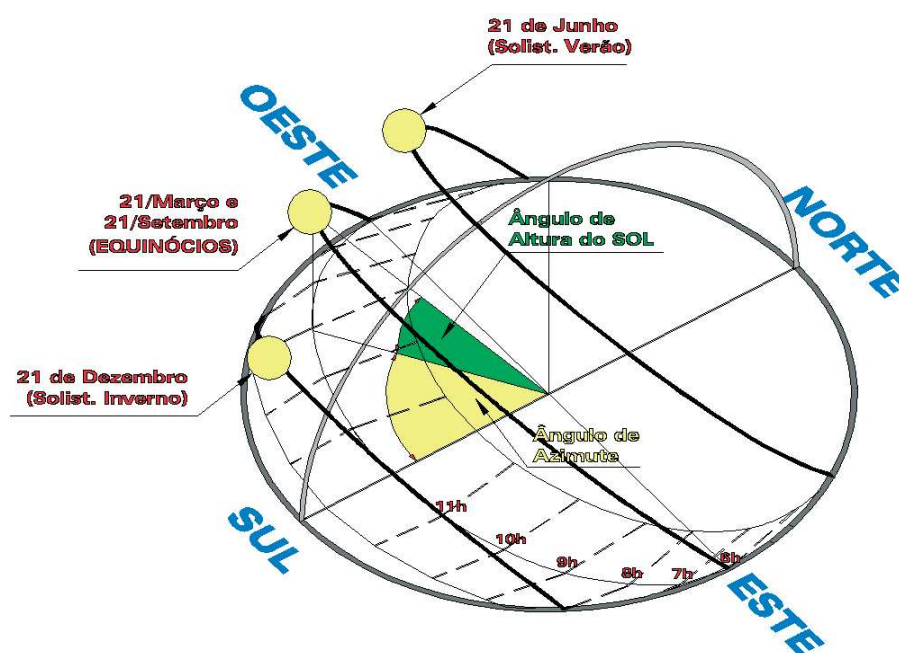
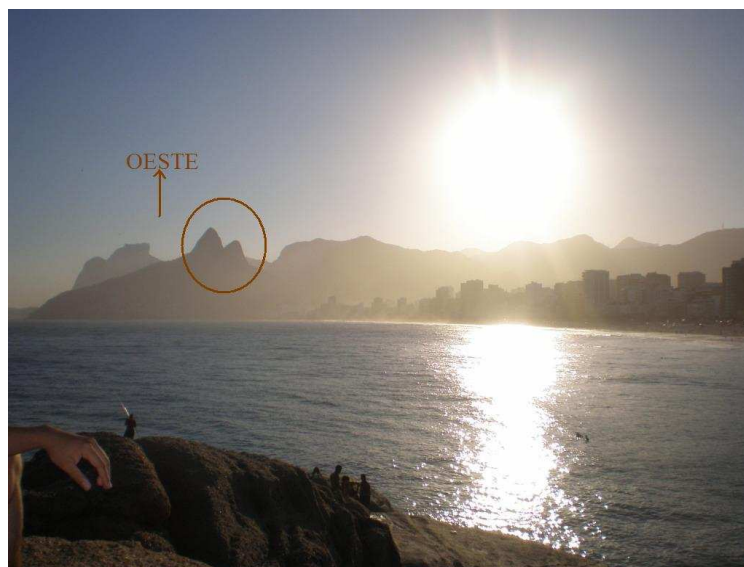


Figura 4 – Trajetória aparente do sol no Hemisfério Norte (Fonte: Conceitos bioclimáticos para os Edifícios em Portugal)

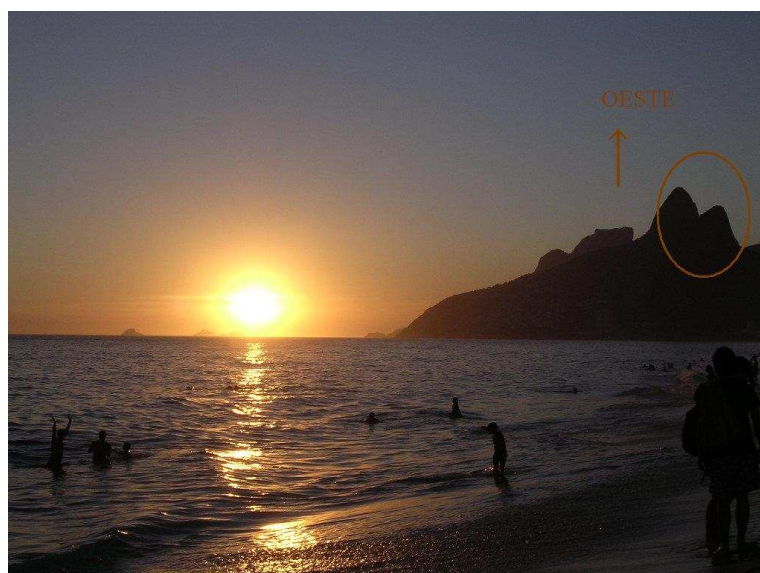
No Hemisfério Norte, durante o solstício de Inverno (21 de Dezembro) o sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se relativamente próximo do azimuth Sudoeste, variando o ângulo horizontal do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano. Por outro lado no solstício de Verão (21 de Junho) o sol nasce próximo da orientação Nordeste e põe-se a Noroeste. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais altos de todo o ano. Nos Equinócios (21 de Março e 21 de Setembro) o sol nasce exactamente na orientação Este e põe-se exactamente na orientação Oeste.

Já no Hemisfério Sul acontece precisamente o inverso. No solstício de Inverno (dia 21 de Junho) o Sol nasce a Nordeste e põe-se mais para o lado Norte do Oeste enquanto que no solstício de Verão (dia 21 de Dezembro) o sol nasce mais para o sul do Este e põe-se a Sudoeste.

Estas diferenças podem ser evidenciadas nas duas fotografias 6 e 7 que se seguem, tiradas em dias próximos dos dois solstícios na Praia de Ipanema, Rio de Janeiro, Brasil (tomar como referência os dois morros).



Fotografia 6 – Solstício de Inverno (Fonte: Foto da autora)



Fotografia 7 – Solstício de Verão (Fonte: Foto da autora)

### 2.3.3. ORIENTAÇÃO DAS FACHADAS

Na realização de um projecto de fachadas é crucial saber de que maneira se deve posicionar o edifício em relação ao sol. A metodologia deve consistir no estudo das trajectórias aparentes do sol, sendo que a respectiva orientação e dimensão irá determinar sua exposição. Para levar em conta a influência do sol podem usar-se diagramas de trajectórias solares, o heliodón (aparelho experimental simples para estudar sombras) ou programas de simulação por computador.

De um modo geral, para Portugal continental, os valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores são os seguintes:



Quadro 2 - Valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores em Portugal continental

Estações do ano	Radiação solar global máxima – R [W/m <sup>2</sup> ]					
	Orientação					
	N	E	SE	S	SO	O
Inverno	90	680	940	1050	920	670
Primavera/Outono	150	720	980	790	940	700
Verão	180	900	880	460	800	780

(Fonte: Associação Portuguesa da indústria de cerâmica – manual de aplicação de revestimentos cerâmicos. Coimbra APICER, 1998)

No Inverno, sendo necessário aquecer os edifícios, a estratégia correcta será a de captar a radiação solar disponível. Para o Hemisfério Norte é a orientação a sul aquela que propicia maiores ganhos solares tal como preconiza o Quadro 2. A trajectória aparente do Sol no Inverno é vantajosa para esta orientação, uma vez que se efectua para azimutes muito próximos do Sul geográfico. (Figura 5)

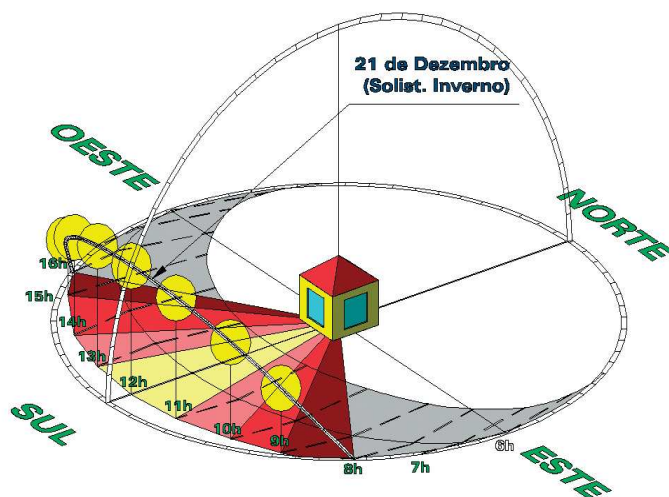


Figura 5 – Solstício de Inverno Hemisfério Norte (Fonte: Conceitos Bioclimáticos nos Edifícios em Portugal)

A fachada Este recebe pouca radiação, uma vez que o sol nasce próximo da orientação Sudeste, incidindo na fachada durante poucas horas do período da manhã e com um pequeno ângulo de incidência como se pode observar pela figura anterior.

Na fachada orientada a Oeste, como é simétrica, os efeitos da acção Solar são semelhantes, diferindo apenas no período do dia em que ocorrem. No Inverno, uma fachada orientada a Oeste recebe pouca radiação durante poucas horas do período da tarde. Os ângulos de incidência são elevados, o que reduz o seu efeito. [15]

A fachada orientada a Norte é aquela que conduz a menores preocupações num edifício em termos de radiação solar, sendo pois a mais fria. No Inverno, não recebe nenhuma radiação directa.

Porém, no Verão, torna-se necessário minimizar os ganhos solares, uma vez que, no seu percurso de nordeste até noroeste o sol “vê” todas as orientações. Assim, verifica-se que o percurso do Sol, sendo próximo do zénite, apresenta um ângulo de incidência com a normal de valor mais elevado.

No Verão, a radiação solar incide em abundância numa fachada orientada a Este no período da manhã, desde o nascer do Sol, que ocorre cedo e próximo da orientação Nordeste, até ao meio-dia. Os ângulos de incidência são próximos da perpendicular à fachada, o que maximiza a captação de energia solar, que nos meses mais quentes é indesejável.

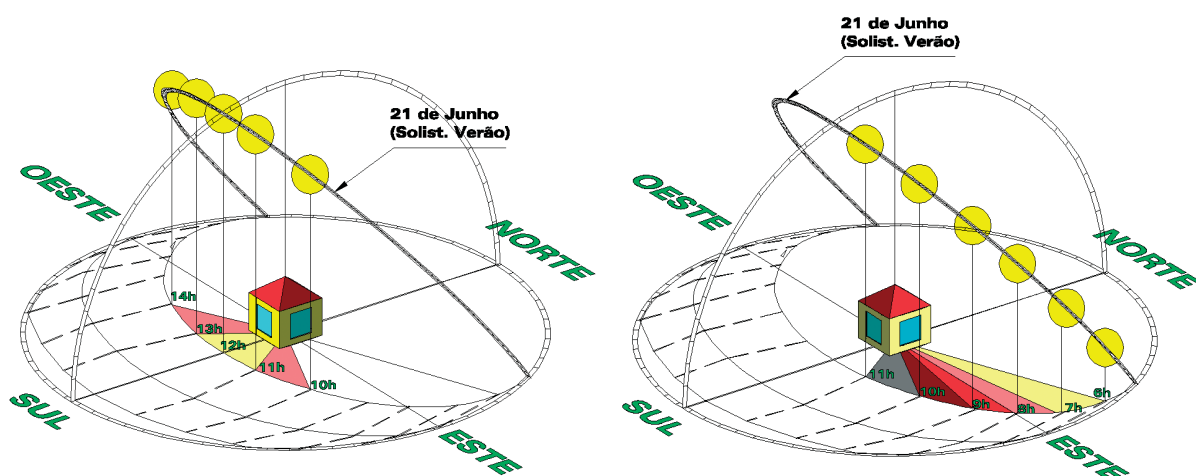


Figura 6 – Solstício de Verão – Hemisfério Norte (Fonte: Conceitos Bioclimáticos nos Edifícios em Portugal)

Na fachada orientada a Oeste, sendo simétrica, os efeitos da acção Solar são semelhantes, diferindo apenas que é no período da tarde que ocorrem as maiores temperaturas exteriores. Assim, no Verão a radiação solar incide em abundância, durante a tarde toda, desde o meio-dia, até ao pôr-do-sol, que ocorre tarde e próximo da orientação Noroeste. Esta é a fachada mais problemática em termos de Verão pois são responsáveis por grandes cargas térmicas nos edifícios, sendo necessário ter um maior cuidado com elas, quer em termos de áreas, tipos de vidros e sombreamentos.

Também no Verão, a fachada Norte é a que recebe menos radiação directa limitando-se a pequenas fracções no princípio da manhã e fim da tarde.

Em síntese, no Inverno interessa promover os ganhos de radiação, pelo que se apresenta benéfica a abertura de vãos envidraçados no quadrante Sul; já no Verão interessa restringir esses mesmos ganhos, pelo que se apresenta importante que os vãos sejam dotados de dispositivos sombreadores eficazes. Principalmente nos vãos a Poente e Nascente.

Tal como já se referiu anteriormente, para o Hemisfério Sul ocorrem diferenças significativas relativamente aos locais onde nasce e se põe o sol no solstício de verão e de Inverno.

Como exemplo refere-se um estudo elaborado na cidade do Rio de Janeiro. Corbella e Yannas [22] elaboraram um estudo relativamente à radiação solar incidente sobre superfícies verticais no Rio de Janeiro.



O quadro 3 apresenta as magnitudes relativas para as fachadas orientadas para os quatro pontos cardeais. Os dados expressam-se em  $kwh$  por metro quadrado e por dia, média sobre um período de três meses, recebidos durante o Verão e no Inverno.

Quadro 3 – Radiação solar incidente sobre superfícies verticais no Rio de Janeiro (em  $kwh / m^2 / dia$ )

Fachada	Inverno	Verão
Norte	3,8	2,0
Este/Oeste	2,4	3,4
Sul	1,0	2,4

(Fonte: Em Busca de uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos, 2003)

Podem ser observados na tabela que os valores da radiação incidente no verão correspondem a valores médios de 2 a 3,4  $kwh/m^2 / dia$ . Isto, combinado com temperaturas externas médias diurnas que superam os 30°C, leva a situações extremas de desconforto térmico.

Nos trópicos durante o verão as paredes que enfrentam o Este e o Oeste (e também o tecto) recebem mais energia solar do que as voltadas para o Norte e para o Sul, enquanto estas últimas recebem carga solar similar.

Por essa razão, a forma do edifício deve ser tal que as paredes voltadas para Este e Oeste possuam áreas menores que as fachadas Norte e Sul e também menores aberturas. Estas (quando existam) devem ser de pequena dimensão visto as suas únicas funções serem de ventilação e iluminação. Normalmente, no Hemisfério Sul, é importante ter um edifício com a maior fachada voltada a Norte para receber o máximo de energia possível, tendo no entanto sombreamentos programados para o Verão.

Por conseguinte, no Verão é a fachada sul a que requer maior protecção solar (em comparação com a fachada Norte), invertendo a hierarquia conhecida para o Inverno. A orientação do edifício deve também contar com os ventos dominantes e a sua influência na ventilação natural e infiltrações. A figura 7 mostra as observações nas várias orientações das fachadas de um edifício ao longo do dia.

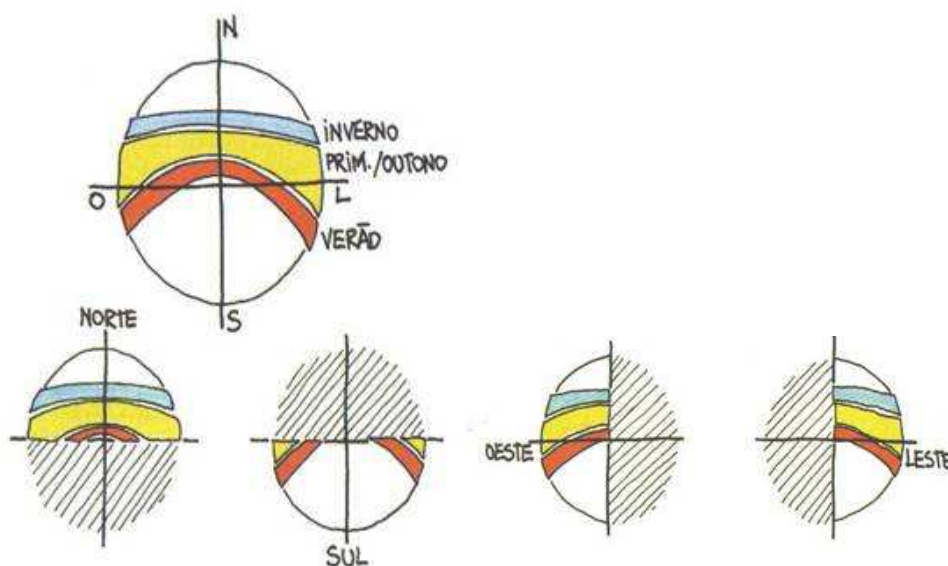


Figura 7 – Incidência do Sol nas diferentes horas e nas diferentes fachadas (Fonte: Lamberts, 1997)

O Quadro 4 ilustra as imagens da figura 7 através das observações efectuadas nos 4 pontos cardeais.

Quadro 4 – Observações na Orientação das Fachadas (Fonte: LAMBERTS, 1997)

Ponto cardial	Observações
Este	Sol todas as manhãs em todas as estações.
Oeste	Sol todas as tardes em todas as estações
Norte	Sol mais baixo durante todo o dia no Inverno e em boa parte da primavera e Outono; sol mais alto no verão, que incide poucas horas do dia.
Sul	Sol inexistente no Inverno; sol pouco presente no Outono e na primavera, no início e final do dia; sol mais presente no verão, no início e final do dia, desaparecendo por volta do meio-dia para a fachada.

#### 2.3.4. INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica de um edifício é a capacidade que ele tem de contrariar as variações de temperatura no seu interior devido à sua potencialidade de acumular calor nos elementos de construção. A inércia térmica influi sobre o comportamento do edifício tanto de Inverno, ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como de verão ao influenciar a capacidade do edifício absorver os picos de temperatura. A inércia térmica depende então grandemente dos materiais utilizados na construção do edifício. [23].

A inércia térmica é um termo comumente utilizado por engenheiros quando se referem às transferências de calor e à sua capacidade térmica volumétrica. Se a temperatura sobe lentamente o corpo tem uma grande inércia térmica enquanto que nos casos de rápidas variações se está na presença de um corpo de baixa inércia térmica.

Este conceito é muito importante em casas bioclimáticas. Se elas tiverem uma baixa inércia térmica vão reagir rapidamente à radiação solar aquecendo rapidamente durante o dia mas também arrefecendo rapidamente à noite.

Por outro lado, casas com grande inércia térmica vão-se manter mais tempo frescas durante o dia, enquanto armazenam calor, que vão libertar lentamente à noite. Pode concluir-se assim que num clima tropical quente e húmido as construções não devem ter uma inércia muito grande, pois isto dificulta a retirada do calor interno armazenado durante o dia pelo envolvente, prejudicando o arrefecimento da edificação quando a temperatura externa nocturna está mais baixa que a interna.

Os edifícios que possuem elevada inércia térmica são melhores para regiões onde as amplitudes térmicas diurnas são significativas. [24] A elevada inércia térmica actua como volante de inércia nas mudanças de temperatura do interior dos edifícios, atrasando o aquecimento dos espaços interiores quando a temperatura exterior é mais elevada e diminuindo o ritmo com que a temperatura interior baixa durante a noite, através da libertação da energia armazenada nas paredes durante o dia.

## 2.4. ESTRATÉGIAS PARA A CONSTRUÇÃO BIOCLIMÁTICA

### 2.4.1. INTRODUÇÃO

As Estratégias Bioclimáticas são um conjunto de regras ou medidas de carácter geral destinadas a influenciarem a forma do edifício bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adoptar num determinado edifício ou projecto deverão ser seleccionadas tendo em atenção a especificidade climática do local, função do edifício e consequentemente, modo de ocupação e operação do mesmo, com o objectivo de promoverem um bom desempenho em termos de adaptação ao clima.

Sendo um dos objectivos finais da concepção de edifícios bioclimáticos a obtenção natural das condições de conforto dos seus utilizadores, que variam em função do clima, do edifício em termos construtivos e também do tipo de utilização é necessário o projectista ter uma abordagem multi-angular na concepção do edifício. Existem já inúmeros estudos sobre o comportamento adaptativo dos ocupantes dos edifícios (quer em termos de acções físicas, quer em termos de adaptação psicológica), relacionando ambos os factores com o contexto climático. Há um conjunto de parâmetros ambientais que influenciam directamente o conforto térmico tais como a temperatura do ar, a sua velocidade e humidade relativa que estão dependentes da qualidade da envolvente dos edifícios. À noção de conforto térmico está associada uma boa dose de factores psicológicos e fisiológicos que variam de pessoa para pessoa e podem conduzir a diferentes sensações de conforto, nas mesmas condições de ambiente térmico. Acresce que todo este processo é dinâmico. Efectivamente, não só o clima varia instantaneamente, como o conforto humano não é uma realidade estática, uma vez que o ser humano tem capacidade para se adaptar às variações das condições térmicas que o envolvem.

De seguida devem ser considerados factores técnicos associados a diversas vertentes, como orientação, cálculos de sombreamento, formato da habitação e movimentos do ar. Finalmente, deve ser realizado um desenho arquitectónico que aproveite os resultados das fases anteriores de forma a contribuir como o plano de uma habitação bioclimática. Esta questão da envolvente é crucial, o que significa que já não basta a um arquitecto criar um projecto esteticamente bem concebido e integrado com a envolvente urbanística, sendo também necessária uma completa integração com o meio ambiente. Um dos factores chave para um *design* eficaz e eficiente é a compreensão de que não existe uma solução óptima e aplicável a todas as situações, mas sim inúmeros mecanismos que devem ser seleccionados no sentido de se encontrar uma solução adequada para determinado local.

### 2.4.2. CONCEPÇÃO, FORMAS E CORES NA ARQUITECTURA – REFLEXÃO

Na concepção de um edifício, a adopção de certas estratégias poderá influenciar significativamente o desempenho em termos do conforto térmico no seu interior e, consequentemente, dos seus ocupantes. Como o consumo energético depende das condições de conforto que estes querem atingir, se o edifício estiver pouco adaptado ao clima será necessário maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico pretendido. O projecto de um edifício solar passivo ou bioclimático deverá começar por uma criteriosa escolha da implantação e da orientação do edifício, de forma a otimizar os ganhos solares no mesmo. Importa, já nesta fase, saber se o clima é favorável a esses ganhos solares nas diferentes estações do ano, e quais os cuidados a ter quanto às protecções solares no período de Verão.

A forma do edifício é importante pois influencia a sua superfície de contacto com o exterior estando naturalmente relacionada com as perdas e ganhos de calor. Assim, quanto mais compacto for o edifício, melhor. Pode ter grande influência no conforto ambiental de uma edificação e no seu

consumo de energia. Interfere directamente sobre os fluxos de ar no interior e no exterior e na quantidade de luz e calor recebidos pelos edifícios. Segundo estudos feitos pela Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin a optimização das formas de uma edificação varia de acordo com parâmetros climatéricos e urbanos e pode ter um profundo impacto na forma dos espaços urbanos. Em todos os climas a concepção da construção visa obter o máximo de horas de sol, conservação de energia e abrigo (abrigo ao sol ou ao vento conforme o clima em que está inserido). As formas óptimas dos edifícios variam segundo os parâmetros climáticos e podem ter impacto profundo na forma dos espaços urbanos. Em todos os climas, os instrumentos de desenho tentam maximizar a iluminação natural e conservação de energia. [25]

O uso de cores leves em acabamentos exteriores reduz ganhos térmicos no edifício; a utilização de cores claras em locais com muita incidência solar e quentes ajudam na reflexão dos raios solares, contribuindo para o não aquecimento interno do ambiente. O oposto vale para lugares frios.

As cores e as características arquitectónicas da fachada de um edifício são os factores que mais afectam o aspecto das cidades. As primeiras impressões são sempre baseadas na forma geométrica do edifício e na cor das fachadas. Estas deverão reflectir as características da região e do ambiente construído. [26] Salienta-se ainda o facto do coeficiente de absorção da radiação solar ser essencialmente condicionado pela cor da superfície exposta do produto, pelo que se torna de grande relevância, para uma maior durabilidade, a escolha da cor na fase de projecto tendo em consideração os valores do quadro seguinte.

Quadro 5 – Valores dos coeficientes de absorção solar consoante as cores dos revestimentos

Cores	Valores dos coeficientes de absorção solar
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo/laranja/ vermelho claro	0,3 a 0,5
Vermelho escuro/ verde claro /azul claro	0,5 a 0,7
Castanho /verde escuro/azul vivo/ azul escuro	0,7 a 0,9
Castanho escuro/negro	0,9 a 1

(Fonte: Paredes Exteriores de Edifícios em Pano Simples - Sérgio Alves, Hipólito de Sousa, 2003)

#### 2.4.3. CARTA BIOCLIMÁTICA DE BARUCH GIVONI

A carta bioclimática, concebida por Givone em 1969 é construída sobre o diagrama psicrométrico e apresenta nove diferentes zonas relacionadas com diferentes estratégias de actuação construtivas para a adequação da arquitectura ao clima:

- Zona de conforto
- Ventilação
- Zona de arrefecimento evaporativo
- Massa térmica para arrefecimento
- Ar condicionado
- Humidificação

- Zona de massa térmica de aquecimento
- Zona de aquecimento solar passivo
- Zona de aquecimento artificial

Nesta carta estão envolvidos parâmetros como o clima, a biologia, a tecnologia e a arquitectura. No que diz respeito aos dados climáticos, estes envolvem estudos sobre a temperatura do local, ventos, humidade, radiação e chuvas e devem também levar em conta o microclima específico da zona onde se pretende projetar.

No que diz respeito a uma avaliação biológica deve usar-se o diagrama bioclimático obtendo-se assim um diagnóstico para o estabelecimento das condições de conforto. O mesmo diagrama deve ser usado no estudo de soluções tecnológicas tais como a orientação, sombreamento, ventilação e iluminação natural. Depois de analisar os aspectos anteriores, segue-se a aplicação arquitetural montando um organograma que sinalize os locais que precisam de vento, luz e vista.

Um dos instrumentos que permite uma verificação de quais as estratégias mais eficazes para garantir um nível de temperatura e humidade compatível, no período ocupado com a actividade prevista, é o diagrama bioclimático, afirma Lamberts [27]

Seguidamente apresentamos a carta bioclimática de Baruch Givoni que sintetiza num diagrama psicrométrico o tipo de estratégias que devem ser utilizadas para cada clima particular.

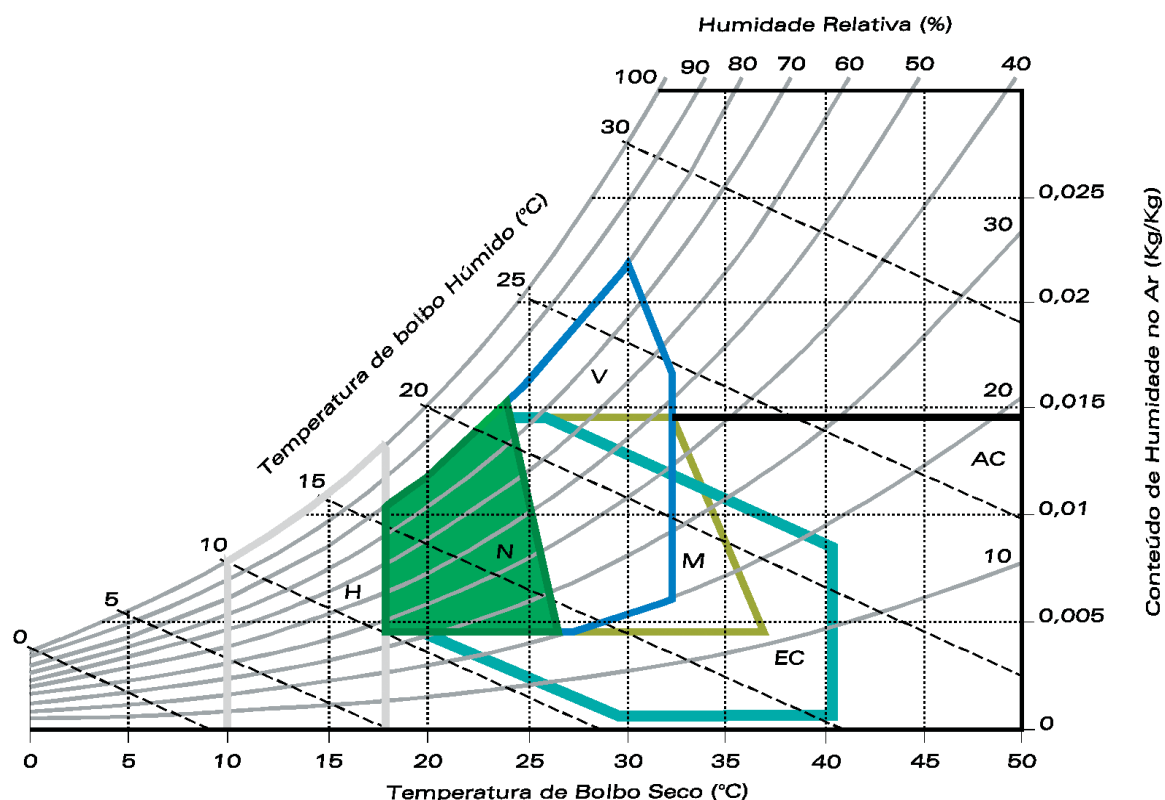


Figura 8 – Zonas existentes no diagrama bioclimático (Fonte: Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal)

No ambiente urbano, a ocupação e pavimentação excessiva provoca uma carência da vegetação que acarreta uma redução da humidade relativa do ar. Se a humidade influencia na amplitude térmica, a temperatura influi na quantidade de vapor de água que o ar pode conter.

Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor de água por metro cúbico de ar. A carta psicrométrica apresenta esta relação, mostrando as temperaturas máximas que podem conter determinadas quantidades de vapor de água (temperaturas de ponto de orvalho) para uma pressão atmosférica.

Nesta carta, (Figura 8) devem registar-se as ocorrências dos estados do ar (em termos de temperatura e humidade) verificados no exterior. As diferentes localizações dessas ocorrências na carta assumem geralmente a forma de uma mancha, sendo essa localização indicadora do tipo de clima do local e consequentemente do tipo de estratégias mais adequadas ao bom desempenho do edifício nesta matéria: a zona N corresponde à zona (Neutra) de conforto para o ser humano onde as condições de clima exterior estão próximas das condições de conforto. A arquitectura deverá acautelar a existência de ganhos solares excessivos e requer que não sejam cometidos outros erros graves em matéria de trocas térmicas por ventilação e condução.

No diagrama a zona à esquerda desta zona neutra corresponde a regiões onde são necessárias implantar estratégias de aquecimento. Essa zona H na Carta Bioclimática, corresponde a climas de Inverno agressivo onde se devem promover os ganhos solares e se afigura necessário restringir as perdas por condução, as perdas por infiltração e o efeito do vento no exterior do edifício. O quadro seguinte ilustra algumas possibilidades de alcançar estes objectivos.

Quadro 6 – Resumo das estratégias

Objectivo	Estratégia
Restringir a perdas por condução	Aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos
Restringir perdas por infiltração	Execução de caixilharias de janelas com vedação eficiente
Restringir efeito da acção do vento	Protecção dos ventos dominantes com vegetação e escolha de uma boa localização para o edifício
Promover ganhos solares	Sistemas solares passivos para aquecimento

Por outro lado, as zonas à direita da zona neutra correspondem à necessidade de aplicação de estratégias de arrefecimento.

As zonas V (ventilação) da Carta Bioclimática, correspondem a climas de tipo tropical e equatorial, ou temperado de influência marítima – temos bons exemplos de aplicação desta estratégia nas casa de inércia leve típicas da arquitectura vernácula das regiões tropicais e nos sistemas de arrefecimento por ventilação.

As zonas EC e M, correspondendo a climas temperados secos e climas de regiões desérticas áridas e muito secas (arquitectura do médio oriente).

As Zonas M, correspondendo a todos os climas quentes de influência continental de elevadas amplitudes térmicas – bons exemplos desta estratégia são património da arquitectura do médio oriente e também do Sul da Europa particularmente em Portugal (Alentejo e Algarve) e Espanha (Andaluzia).

Quadro 7 – Resumo de estratégias bioclimáticas

Medida	Zona			
	V	EC	AC	M
Promover ventilação natural	x			
Restringir ganhos solares	x	x	x	x
Promover o arrefecimento por evaporação		x		x
Promover o arrefecimento por radiação				x

Nas zonas AC (necessidade de ar condicionado) (5) não é possível atingir estados de conforto térmico sem recurso à utilização de meios mecânicos não passivos.

A humidade do ar traduz qual a percentagem de água que o ar contém e o seu valor é influenciado não só pela sua temperatura mas também pelo volume de precipitação, pela vegetação, pelo tipo de solo e pelas condições climatéricas, tais como os ventos e a exposição solar. Influencia a sensação de bem-estar visto que uma das formas do corpo regular a sua temperatura passa pela evaporação. É a proporção em percentagem entre o conteúdo de vapor d'água no ar e o seu máximo para aquela temperatura. Nos locais com alta humidade, a transmissão de radiação solar é reduzida porque o vapor d'água e as nuvens a absorvem e a distribuem na atmosfera.

#### 2.4.4 QUADRO RESUMO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Com vista a estabelecer um conjunto de regras de projecto adequadas a cada caso particular do conjunto “edifício-clima” resumiu-se no Quadro 8 um estudo em que se procurou separadamente para cada situação tipo, quais as estratégias bioclimáticas capazes de promover uma melhor eficiência dos edifícios em matéria de desempenho térmico. Nesse sentido, considerou-se que qualquer edifício em Portugal deve adaptar-se simultaneamente às condições da estação de aquecimento (promovendo os ganhos solares e restringindo as perdas por condução através da envolvente) e da estação de arrefecimento (restringindo os ganhos solares e limitando os ganhos por condução através da envolvente) como está implícito no RCCTE.

Para além das estratégias bioclimáticas anteriormente descritas, existem outras medidas de aplicação não tão generalizada mas nem por isso menos eficazes; são as chamadas técnicas passivas.

Estas últimas apresentam-se sintetizadas no Quadro-resumo 9.

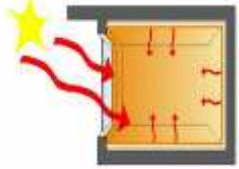
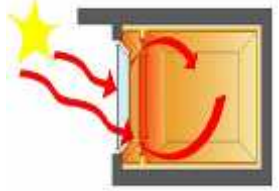
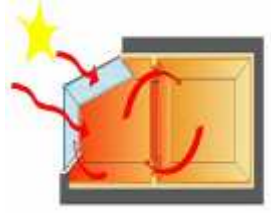
Quadro 8 – Resumo de estratégias. Caso particular do clima de Portugal

Estação	Estratégias Bioclimáticas	Sistemas Passivos	
Inverno – Estação de Aquecimento	Promover Ganhos Solares	Todos os sistemas de ganho são adequados para os tipos de edifícios mais convenientes	
	Restringir Perdas por Condução	Isolar Envolvente	
	Promover Inércia Forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior	
Verão – Estação de Arrefecimento	Restringir Ganhos Solares	Sombrear Envidraçados	
	Restringir Ganhos por Condução	Isolar Envolvente	
	Ventilação	Ventilação transversal (nocturna)	
	Arrefecimento Evaporativo	Tubos enterrados	
	Arrefecimento Evaporativo	Espeiros de água; fontes interiores com circulação de ar a velocidades muito baixas. O ar arrefecido é estratificado devendo o ar mais quente ser extraído por convecção natural	
	Promover Inércia Forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior	

(Fonte: Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal)



Quadro 9 - Técnicas solares passivas - sistema de aquecimento solar passivo

	Vantagens	Desvantagens	
Ganho directo	Mais fácil de integrar Área de vidro e acumulação mais eficaz Melhor distribuição interna	Mais sensível aos picos climáticos Desconforto pontual junto aos vãos	
Ganho Indirecto	Optimização da captação/armazenamento Continuidade do fluxo de radiação re-emitido e menores flutuações	Mais dificuldades no controlo da radiação Integração mais difícil pela diminuição de espaço útil	
Ganho Isolado	Maior flexibilidade formal e construtiva Maiores ciclos de armazenamento	Maior atenção do projectista às perdas Maiores dificuldades de controlo dos utilizadores	

#### 2.4.5.MECANISMOS DE VENTILAÇÃO E DE ILUMINAÇÃO NATURAIS

Para climas quentes e húmidos um dos factores mais importantes é a ventilação. Tirar partido da vegetação para proporcionar conforto através da ventilação adequada é fazer bom uso dos princípios da arquitectura bioclimática. O conforto do homem é afectado pela velocidade do vento e seu comportamento flutuante. As trocas térmicas entre o homem e o exterior são também afectadas pelo vento. O vento resulta da deslocação de uma massa de ar maioritariamente na horizontal, de uma zona de alta pressão para uma zona de baixa pressão. Vários parâmetros afectam a sua existência e a sua velocidade que, em geral aumenta com a altitude sendo a topografia um destes factores. O vento é geralmente uma vantagem no verão visto que permite arrefecer a atmosfera, mas é uma desvantagem no Inverno visto ser um dos factores que contribui para o arrefecimento dos edifícios por convecção. No verão, aumenta o conforto térmico, pois como já foi dito o movimento do ar aumenta as perdas de calor do corpo humano e como tal promove convecção forçada com as paredes, chão e tectos, o que ajuda a dissipar o calor.

Segundo Mülfarth [16] afirma, depende do arquitecto buscar caminhos que eliminem ou pelo menos reduzam a necessidade de usar recursos artificiais para o condicionamento do ar. “A ventilação cruzada é a solução natural e eficiente”. Para isso, é necessário prever aberturas em paredes opostas ou justapostas, ou mesmo no teto, forçando o fluxo de ar. O dimensionamento da ventilação deve considerar o volume do ambiente, a quantidade de pessoas e a existência de equipamentos que geram calor.

No Inverno, quando a temperatura exterior apresenta praticamente sempre valores abaixo das condições de conforto, interessa limitar as infiltrações. No entanto, a renovação do ar interior é uma medida necessária à manutenção das condições de salubridade interior dos edifícios pelo que deve ser sempre assegurado um mínimo recomendável através de um sistema de ventilação, natural, mecânico ou híbrido, adequado. No Verão, a ventilação natural assume um papel de relevo no arrefecimento nocturno dos edifícios.

Os edifícios estão sujeitos a trocas de massa de ar entre o interior e o exterior, dependendo das diferenças de temperatura no caso de processos de ventilação natural. Noutros edifícios a ventilação é forçada por equipamento mecânico, de forma regulada e controlada. Uma terceira acção, a do vento, poderá influenciar também de forma significativa o desempenho energético dos edifícios, contribuindo também para a ventilação natural. Qualquer destes processos induz no edifício uma carga térmica (fria ou quente) que importa ter em atenção no balanço térmico de qualquer edifício. No primeiro caso, estamos perante um processo de infiltrações que se efectuam através das frinchas das portas e janelas e podem representar uma carga considerável de arrefecimento no Inverno, que deverá ser contrariada através de uma boa vedação dessas frinchas.

Como principais vantagens enfatiza-se a contribuição para a diminuição da temperatura interior e para a remoção do calor armazenado na massa térmica do material. Como inconvenientes pode apontar-se o facto de ser mais sensível aos picos climáticos/ desconforto pontual junto dos vãos e a sua necessidade de controlo pelo utilizador.

Em termos energéticos e de conforto visual, a luz natural é a forma mais racional de iluminar um espaço e como tal o seu aproveitamento deve ser maximizado. A preocupação da sua optimização deve estar presente desde o início do desenvolvimento do projecto do edifício, cuidando espaços que sejam localizados, organizados e orientados em consonância com esse objectivo e ser dotados de vãos de iluminação adequadamente posicionados e dimensionados, tendo em conta as funções previstas para essas áreas e as actividades que neles irão ser realizadas. [28]

O objectivo é portanto maximizar a área do edifício com acesso à iluminação natural, dando prioridade a locais onde se desempenhem tarefas com maior exigência visual e onde se verifique a mais constante permanência de pessoas. As decisões de projecto têm que ter sempre em consideração o arranjo das aberturas e distribuição das superfícies internas para garantir uma distribuição de luz adequada. Num edifício, os vãos de iluminação devem ser orientados para os quadrantes que recebem directamente o Sol (Sul, Nascente e Poente), enquanto que os restantes espaços, tais como espaços de circulação, arrumos, garagens e de um modo geral espaços de serviços, se devem localizar, de preferência, a Norte. As janelas altas, junto ao tecto, ajudam a distribuir melhor a luz, sendo o resultado ainda melhor quando as superfícies internas apresentam cores claras para difundir a luminosidade no ambiente. Há outros recursos simples e eficientes para isso, como brises ou bandejas de luz (espécie de brise horizontal fixado no caixilho que se prolonga para o interior dos espaços, direccionando a luz para os pontos mais afastados das janelas.)

Admitindo uma boa qualidade da envolvente, tendo em conta o aproveitamento solar na estação de aquecimento e as economias de energia associadas ao aproveitamento da iluminação natural, a título meramente exemplificativo para o clima médio Português são considerados como valores mais adequados para a dimensão dos vãos envidraçados com vidros duplos e com dispositivos de sombreamento, os valores indicados no quadro seguinte.

Quadro 10 – Percentagens mais adequadas para a dimensão dos vãos envidraçados em relação à fachada

Orientação	Estação de Aquecimento	Estação de Arrefecimento
Norte	20%	15%
Sul	40 %	30%
Este/oeste	25 %	20 %

Apesar de ser extremamente útil a penetração de energia solar no edifício, quanto mais não fosse porque a luz natural é também um esterelizante do ar, no que respeita a alguns microorganismos, há que ter certos cuidados relativos à protecção da sua incidência directa para não criar problemas de desconforto visual causados por excessivos contrastes da iluminação, encandeamento ou sobreaquecimento dos espaços interiores durante a estação quente. Nesta perspectiva a fachada Sul é aquela que se encontra numa posição mais favorável comparativamente com as restantes porque permite usufruir positivamente das diferentes alturas do Sol tanto no Inverno como no Verão. Nesta última para evitar a incidência directa da radiação solar facilmente se recorre a mecanismos simples como palas horizontais de sombreamento exterior para atenuar esse efeito. Sem que as mesmas obstruam a passagem de raios solares quando eles são efectivamente necessários em estações mais frias, quando o Sol atinge alturas mais baixas. Para fachadas orientadas a Nascente e especialmente a Poente, mais críticas em termos de mecanismos de sombreamentos eficazes, a escolha da solução para esse efeito pode recair sobre árvores de vegetação de folha caduca embora em áreas urbanas esta opção seja de concretização mais difícil.



## 3

**REVESTIMENTO DE FACHADAS  
SUSTENTÁVEIS. MATERIAIS.****3.1. INTRODUÇÃO**

Nos capítulos precedentes procedeu-se a um estudo teórico a respeito da sustentabilidade e do seu desenvolvimento de modo a atingir-se uma construção sustentável. O presente capítulo estuda a importância de materiais considerados sustentáveis usados no revestimento das fachadas.

A função estética das fachadas de edifícios tem mostrado grande evolução com aplicação de grande variedade de materiais no seu acabamento. Observa-se a busca da identificação do padrão construtivo da edificação com o acabamento aplicado às fachadas. A fachada de um edifício tem uma relação marcante com o meio ambiente urbano e envolve factores sociais importantes, tipificando e caracterizando a sociedade, suas aspirações e até o seu grau de prosperidade. [29] O principal propósito de um sistema de revestimento de fachadas é separar o ambiente interno do ambiente externo, funcionando simultaneamente como uma barreira ou um filtro selectivo, que possa controlar uma série de forças e ocorrências, algumas vezes conflitantes. [30]

A escolha dos materiais na construção sustentável deveria, em princípio, obedecer a critérios de preservação, recuperação e responsabilidade ambiental. Isso significa que, ao iniciar-se uma construção seria importante considerar os tipos de materiais que podem contribuir para conservar e melhorar o meio ambiente onde esta será inserida. Estes materiais deverão ser avaliados em relação directa com o estilo de vida do local e do usuário.

Nesta monografia, procurou-se inicialmente determinar o significado e a importância do termo ‘desenvolvimento sustentável’. Assim realizaram-se novas pesquisas a partir das quais foram identificadas questões directamente relacionadas com o tema: a relação entre desenvolvimento sustentável e a sociedade, a economia, o espaço, a cultura e a natureza. A figura 9 procura resumir, simplificadamente, as interacções entre a sociedade, a economia e o ambiente.



Figura 9 – Intervenientes no conceito de desenvolvimento sustentável

É impossível dissociar o conceito de revestimento de fachadas da noção de construção sustentável. Este último pretende romper com a construção tradicional, de acordo com a definição de sustentabilidade focando aspectos ambientais, sociais e económicos de forma equilibrada que são muitas vezes caracterizados pela sua complexidade, diversidade e carecem de inovação e soluções multidisciplinares. Neste sentido, a construção dita sustentável deverá considerar princípios ecológicos e a racionalização do consumo de recursos naturais, sendo para tal determinante toda a fase de planeamento. [31]

Um edifício sustentável deve ser projectado de forma a minimizar os seus impactes ambientais e a maximizar o conforto dos seus utilizadores, considerando inevitavelmente a viabilidade económica das medidas incorporadas, a contemplação do local, a sua integração no espaço físico e a sua contribuição para um adequado planeamento urbano, preservação de solo e biodiversidade. Nesta mesma linha será importante construir edifícios duradouros e privilegiar as intervenções de reabilitação e adaptação dos edifícios já existentes.

Como maior e mais fragmentada indústria, o sector da construção civil enfrenta desafios para alcançar a sustentabilidade. Como tal, têm sido seguidas duas estratégias: melhorar os passos limitadores do ciclo e economizar os recursos. A primeira estratégia envolve políticas de reciclagem, de tratamento de resíduos e eventualmente, num estado já de poluição severa, de remediação. A segunda estratégia, envolve o aumento da eficiência dos processos utilizados, para que o consumo de recursos seja minimizado. Importa realçar que esta abordagem pode trazer importantes benefícios económicos.

A sustentabilidade na construção deve então englobar medidas essenciais nas suas fases desde a concepção do projecto, execução, uso e manutenção. Em primeiro lugar, a melhoria dos projectos em termos de eficiência energética, diminuindo as suas necessidades em iluminação, ventilação e climatização artificiais como se viu no capítulo anterior; em segundo lugar, a substituição do consumo de energia convencional por energia renovável, não poluente e gratuita e finalmente por último a utilização de materiais locais, preferencialmente materiais de fontes renováveis, obtidos através de fontes naturais capazes de se regenerar e, portanto, virtualmente inesgotáveis tais como o Sol, o vento, os rios, os mares, a matéria orgânica, o calor da terra ou com possibilidade de reutilização e que minimizem o impacto ambiental. Estas energias renováveis são consideradas como energias alternativas ao modelo energético tradicional, tanto pela sua disponibilidade garantida (presente e futura) como pelo seu menor impacto ambiental contribuindo assim para o melhoramento da sustentabilidade. Aspectos tais como a concepção bioclimática do edifício, redução das necessidades de energia e utilização de energia renovável, redução das necessidades de água e utilização de águas pluviais e de águas cinzentas, redução das necessidades de materiais e utilização de materiais reciclados e certificados ambientalmente são incontornáveis em construção sustentável.

### **3.2. MATERIAIS SUSTENTÁVEIS**

Pode encarar-se o revestimento de fachadas como um detalhe construtivo. Todos os princípios da construção sustentável dependem da sua boa e correcta execução à escala do detalhe, para se poder tirar o melhor partido do seu desempenho. Especialmente numa perspectiva ambiental é muito importante que a definição dos materiais e componentes destes materiais de revestimento de fachada respeitem um conjunto de critérios pré-definidos, que tenham em consideração o ciclo de vida energético dos materiais, os impactes em termos da contaminação do ar ao qual estão expostos, a sua origem e regeneração etc. [32]

Segundo Márcio Augusto Araújo [21] a escolha dos produtos e materiais para uma obra sustentável deve obedecer a critérios específicos – origem da matéria-prima, extracção, processamento, gastos com energia, emissão de poluentes, bio compatibilidade etc., que permitam classifica-los como sustentáveis e elevar o padrão da obra. Mas deve também atender a parâmetros de inserção, estando de acordo com a geografia circundante, história, tipologias, ecossistema, condições climáticas, resistência, entre outros factores.

De seguida procede-se à apresentação da lista de materiais e produtos apropriados ao clima, preferencialmente locais, de baixa energia, reciclados e recicláveis, não tóxicos e dependentes das capacidades locais para reduzir alguns impactes ambientais.

#### A) TIJOLO ECOLÓGICO

O tijolo ecológico é uma ótima opção para a construção em alvenaria para quem se preocupa com a responsabilidade ambiental, pois oferece uma ótima qualidade, estética e custo baixo. Os tijolos ecológicos modulares são fabricados a partir da prensagem de solo e cimento, não queimados, evitando assim o corte de árvores e a poluição do ar. Dispensam a massa de assentamento e mão-de-obra especializada e possuem ainda canaletas para encaixe, canais para transpasse das tubulações e isolamento térmico. Alguns destes aspectos estão patentes na figura 10. Possuem homologação, garantia e uniformidade de cor, densidade e textura, são fabricados a partir de solo arenoso não pertencente a áreas de vegetação e na sua fabricação não é utilizada a queima, garantindo que seu processo, além de não contaminar o ar, ajuda na conservação das florestas. Como só tem uma pequena quantidade de cimento na sua composição causa um impacto bem menor do que o tijolo queimado (comum), pois ao contrário deste último não vai ao forno, poluindo menos. Tem excelentes propriedades termo-acústicas. Requer apenas impermeabilizante no acabamento constituído por assentamento de azulejos directamente sobre os tijolos. [33]



Figura 10 – Exemplos de tijolo ecológico (Fonte: ecohabitare)

#### B) MADEIRA PLÁSTICA

A madeira plástica revela-se um material resistente à corrosão, imune a pragas, insectos e roedores, sendo a alternativa ideal para quem colabora com a questão ecológica de forma consciente e lucrativa, substituindo os plásticos. O plástico é moído e moldado na forma de tijolos, que posteriormente são encaixados como um brinquedo de armar. As suas paredes duplas, intercaladas por um colchão de ar, ajudam a controlar o aquecimento do interior. O produto é fabricado a partir da reciclagem de embalagens de vários tipos de plástico. [33] Tem vindo a falar-se cada vez mais neste material como uma possível escolha, não só para o revestimento de fachadas, como para a própria estrutura da construção. Algumas madeiras são próprias para exteriores e a sua durabilidade é elevada, precisando no entanto de uma manutenção semelhante às paredes rebocadas, quer a madeira seja pintada ou envernizada, pois este material protector deve ser substituído com alguma regularidade. A madeira é

um bom isolante térmico e esteticamente corresponde a um ideal de casa quente e acolhedora. Na sua utilização deve evitar-se o contacto directo com o solo. O excesso de exposição solar é outro factor de degradação a ter em conta, e porventura uma das razões porque este material é pouco utilizado em países do Sul da Europa. Os custos são superiores à solução “corrente” de tijolo rebocado e pintado. Para os minimizar poderá optar-se pela construção de uma parede “sanduíche”, em que aos elementos de madeira se associa um isolante térmico de elevada espessura, evitando a construção de uma parede dupla de tijolo. Poderá ainda optar-se por painéis de aglomerados de madeiras ou lamelados, com maior resistência mecânica e à água. Devem ser escolhidas madeiras cuja produção seja de locais de reflorestação, evitando-se as madeiras exóticas. Deste modo está-se a optar por um dos materiais de construção de produção mais sustentável e com menores dispêndios energéticos na sua produção e transformação. Dispensa a aplicação de vernizes e seladoras, necessárias à madeira, pode ser novamente reciclada, permite o uso de pregos e parafusos e é impermeável.

#### C) TINTAS, VERNIZES E REVESTIMENTOS POR PINTURA

A tinta natural à base de terra sempre foi uma opção saudável e sustentável para o revestimento de paredes da fachada de uma edificação, como pigmentação e texturização, ou mesmo para o uso com arte. É feita à base de água, não impermeabiliza a parede, permitindo que esta respire e mantenha um controle de humidade na casa, promovendo um ambiente saudável e livre de eliminação de gases, dos fungos e do mofo. É um material de alta resistência ao clima que aceita infiltração e não desbota, uma vez que seu pigmento é natural. A sua durabilidade é um factor bastante positivo pois só é necessária uma repintura a cada 8 ou 10 anos. A espessura da tinta pode variar de acordo com a intenção: quando se pretende apenas a coloração da superfície é apenas necessário uma pequena espessura; se por outro lado se pretende substituir o reboco em paredes cruas utiliza-se uma tinta mais espessa para a obtenção de texturas. Não agride o meio ambiente nem a saúde nem se descasca com a humidade. Permite a manutenção da humidade no ambiente. Entre outras vantagens são de referir o auxílio ao retardamento do fluxo de calor para o interior, melhorando as condições térmicas do ambiente interno e o facto da cor não desbotar.

Exemplos da aplicação deste tipo de tinta podem ser observados na fotografia 8.



Fotografia 8 – Três casas pintadas com tinta à base de terra (Fonte: Thaís Parolin/Folha Imagem)

O uso de tintas e produtos naturais para pintura era comum no planeta até ao início do século 20. Porém, a partir desta década, altura em que surgiu a chamada revolução das resinas alquídicas, deu-se



início à fabricação em grade escala de tintas sintéticas derivadas de petróleo, que hoje dominam o mercado. [34]

Estas tintas sintéticas derivadas do petróleo, assim como colas, vernizes, resinas e impermeabilizantes, por exemplo, contêm, muitas vezes, pigmentos à base de metais pesados, que não são eliminados pelo organismo e que contaminam solo; até a plastificação de paredes e superfícies e a não permeabilidade à difusão do vapor de água e solventes aromáticos voláteis são prejudiciais à saúde dos seres vivos e à camada de ozono. Os COV's (compostos orgânicos voláteis), que são extremamente tóxicos e evaporam imediatamente após a tinta secar, estão presentes em todos os solventes de tinta. Na Europa existe já legislação regulamentando a utilização de COV's em tintas e vernizes. Porém noutros países apesar da falta de uma legislação específica, já é possível encontrar materiais com baixos índices de COV's.

Assim como a Humanidade já conhece as consequências negativas do uso do petróleo e dos seus derivados para o meio ambiente – como aquecimento global e emissão de poluentes, o uso de tintas sintéticas plastificantes, também derivadas do petróleo, implica uma redução da qualidade do ar e do meio ambiente.

Foi neste contexto que há pouco mais de 15 anos, entidades e empresas, preocupadas com o meio ambiente e a qualidade de vida, começaram a voltar-se para a busca de produtos que aliassem os benefícios das pinturas tradicionais aos recursos da moderna tecnologia. Surgiram então produtos naturais incorporando as conquistas da moderna tecnologia, com processos controlados de fabricação, isentos de produtos voláteis ou derivados de petróleo, contemplando desempenho, solidez, resistência, à luz e às intempéries, entre outros factores. Nasceram assim as tintas naturais, sustentáveis e ecológicas com características gerais “amigas do ambiente” dado que são fabricadas segundo critérios ambientais rigorosos e planeadas com análise do ciclo de vida. Para além destas características, contribuem ainda para a saúde do utilizador que as aplica e também do ocupante da habitação, na medida em que não causam dores de cabeça durante a aplicação e depois dela não possuem odores fortes que causem desconforto. Permitem também a difusão do vapor de água quando a fachada ainda não se encontra revestida por massas corridas ou plastificantes. Têm custo competitivo.

É possível então concluir que as indústrias de tintas, vernizes e revestimentos por pintura, têm feito uma grande aposta na criação de novos produtos, adaptados às tecnologias mais eficientes e inofensivas para o meio ambiente. Os produtos com rótulo ecológico ou a utilização de fontes renováveis para tintas e vernizes, representam um desenvolvimento nesse sentido. É então importante conhecer as suas evoluções mais recentes na elaboração de formulações, ensaio e caracterização de superfícies, acentuando uma perspectiva ecológica deste sector da indústria dos produtos químicos para além da significativa melhoria na qualidade de vida nas residências.

Sob o pilar da sustentabilidade, surgem novas alternativas de revestimento, com baixos teores ou isentas de compostos voláteis e/ou derivados de petróleo, com o intuito de não agredir o meio ambiente e a saúde dos moradores, como tintas, vernizes, colas, resinas, impermeabilizantes, carpetes, selantes, madeira compensada. A sua identificação dá-se a partir de alguns critérios, como índices de emissões, toxicidade, volume das emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV's) e duração e níveis de exposição e acumulação.

Encontram-se ainda em curso desenvolvimentos que têm como objectivo a obtenção de novos revestimentos espectralmente selectivos, depositados sobre substratos condutores e a utilizar como absorsores solares em colectores solares térmicos. [35] Tais revestimentos serão conseguidos recorrendo à utilização de pigmentos orgânicos fotoexcitáveis e com a pretensão de que possuam

aliada a uma elevada eficiência na conversão fototérmica, um baixo custo, uma longa duração, e sejam estáveis na gama alta das médias temperaturas.

Para a concretização do objectivo pretendido estão a ser testadas duas vias distintas:

Em primeiro lugar a preparação de uma tinta espectralmente selectiva a aplicar sobre substratos condutores (alumínio, cobre e aço inoxidável), constituída por:

- Um ligante (resina epoxy enriquecida com silicone)
- Pigmentos orgânicos e inorgânicos para conversão foto térmica da energia solar
- Aditivos reológicos.

A segunda via é a deposição, sobre substratos condutores, de um revestimento espectralmente selectivo, conseguido depositando, por pulverização catódica do tipo magnetrão, uma camada bastante fina de Óxido de Titânio, seguida de impregnação com pigmentos orgânicos.

Destaca-se:

1- A síntese de alguns novos pigmentos orgânicos, derivados de outros já existentes, mas com gamas de comprimentos de onda de absorção diferentes e/ou mais amplas.

2- A obtenção de alguns revestimentos compósitos com pigmentos orgânicos e também com uma mistura de pigmentos orgânicos e inorgânicos, sobre substratos metálicos por dois processos:

- aplicando a tinta obtida com os novos pigmentos orgânicos (em alguns casos também com pigmentos inorgânicos) e adequados ligantes e aditivos adicionados em proporções adequadas;
- por deposição de filmes finos de TiO<sub>2</sub> por pulverização catódica do tipo magnetrão, seguida de impregnação com os novos pigmentos orgânicos (por imersão).

Seguidamente são apresentados e discutidos os resultados preliminares da caracterização dos novos revestimentos absorsores, sob os pontos de vista do seu desempenho óptico.

#### D) REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Revestimento cerâmico de fachadas de edifícios é a denominação dada ao conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço do substrato) assentes à base suportante da fachada do edifício (alvenaria ou estrutura), cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentes e rejuntadas com argamassa ou material adesivo. (Fotografia 11)

Este tipo de revestimento apresenta uma série de vantagens em relação aos demais, como por exemplo a sua facilidade de limpeza, a boa resistência à humidade e o baixo custo de manutenção tornando-se neste aspecto sustentável. Esteticamente tudo depende da imaginação, e pode ser uma opção interessante para paredes muito expostas a intempéries ou em zonas muito húmidas. A sua manutenção consiste apenas na lavagem e a sua durabilidade é muito superior à da pintura, inclusivamente no que se refere à exposição directa aos raios UV, um dos factores a ter em conta em Portugal no envelhecimento dos materiais de fachada.

Por ser uma indústria forte, no nosso país, os seus preços são bastante acessíveis. Em termos ambientais, apesar de ser uma indústria pesada, com grandes dispêndios energéticos na transformação da matéria-prima, este é um dos sectores da construção em que a reciclagem está mais desenvolvida e implementada.

Como se trata de um material económico, muito resistente, com boas características de impermeabilização de fachada, com grande vida útil, garante protecção mecânica de grande durabilidade e que permite a criação de fachadas visualmente atractivas do ponto de vista estético não é de estranhar que tenha sido uma opção prioritária em muitos edifícios.



Figura 11- Edifícios revestidos a elementos cerâmicos (Fonte: Foto da autora)

Aliadas à grande variedade de padrões, cores e texturas, essas características fazem com que pastilhas e cerâmicas sejam as opções mais lembradas quando o objectivo é a busca por diferenciais estéticos de mercado para um empreendimento, melhorar a relação custo/benefício ou aumentar o valor agregado da construção. [36]

Recentemente, no âmbito da Trienal de Arquitectura de Lisboa, foi dado a conhecer um produto inovador para o revestimento das mais variadas superfícies: o Vitrakem. Trata-se de uma solução em aglomerado cerâmico, com design e características diferenciadoras, criado a partir da investigação e do desenvolvimento na utilização de excedentes de processos cerâmicos tradicionais e da transformação de rochas ornamentais. Desta forma, estamos perante um material ecológico inovador, "amigo do ambiente", na medida em que é feito com base na reciclagem de inertes de alta performance, nomeadamente o porcelânico, o alumínio, o cobre, a madreperla e até mesmo excedentes da indústria de CD's e DVD's. Para além das suas vantagens na defesa do ambiente, este produto é extremamente leve, sem que tal afecte a sua resistência e flexibilidade de aplicação.

O vitrakem é aqui distinguido porque, tratando-se de um revestimento revolucionário na sua área, pode ser pioneiro na urgência que há em criar, produzir e comercializar soluções de revestimento de qualidade, que ao mesmo tempo, dêem um forte contributo para a resolução do problema dos resíduos, que serão aproveitados na produção e desse modo articular o respeito pela natureza com a inovação e a funcionalidade.

#### E) PEDRA NATURAL

A pedra é uma formação sólida constituída por um ou por vários tipos de minerais. Existem milhares de tipos diferentes de pedras. A maioria das pedras naturais existentes no planeta e com aplicação em fachadas são provenientes de Itália, Espanha, Turquia, Estados Unidos, México, China, Taiwan, Índia, Grécia, Canadá, França, Brasil e também, claro, de Portugal. [37]

Tal como os revestimentos cerâmicos, a pedra é muitas vezes escolhida pela maior durabilidade que introduz nas fachadas. Por isso pode também ser utilizada na totalidade do edifício ou apenas em fachadas mais problemáticas. Apresenta uma multiplicidade de soluções estéticas, desde a pedra tosca (chamada pedra seca) até à pedra aparelhada. A forma de colocação da pedra também implica uma imagem e textura muito diversificadas. Na maior parte dos casos a pedra é utilizada como elemento de revestimento e não como elemento construtivo, quer pelos custos que isso implica, quer pela área que consome. Apenas em casos em que área de construção seja generosa e em locais onde a pedra é um material abundante fará sentido usar a pedra, não apenas revestimento, mas como material de construção da parede, podendo substituir a fiada exterior de tijolo. Os custos variam muito consoante o tipo de pedra e a forma de aplicação. A sua durabilidade é muito grande, sendo geralmente um dos materiais que melhor responde a todas as solicitações – resistência mecânica, à água ou ao sol. Ultimamente, a poluição nos grandes centros urbanos tem sido um dos principais factores de desgaste de pedras calcárias. Ambientalmente a solução pode ser mais “verde” quando se trate de pedra seca de desperdício e de um recurso local, ou menos correcta se forem pedras retiradas de pedreiras e aparadas e tratadas em fábrica.

Graças à sua perenidade e beleza intrínseca (Fotografia 9), a pedra vem sendo utilizada como matéria-prima da construção há milhares de anos. Esses aspectos também impulsionaram sua especificação como revestimento de fachadas. Hoje, a pedra - entre elas o granito, uma das mais utilizadas - é aplicada em composição com materiais também milenares, como o vidro, ou essencialmente high-tech, como os painéis de alumínio. Por ser extraída da natureza, a pedra tem características físicas, mecânicas e químicas variáveis, em função de seu tipo e da jazida de origem. Entretanto, a sua resistência e a sua durabilidade também estão condicionadas ao sistema utilizado para a fixação das placas.



Fotografia 9 – Hilton São Paulo Morumbi, fachada revestida com granito. (Fonte: [www.bottirubin.com.br](http://www.bottirubin.com.br))

As suas características fortes e duradouras são conhecidas desde os tempos da pré-história, altura em que eram usadas essencialmente enquanto função estrutural. Hoje em dia, o seu uso destina-se maioritariamente ao revestimento, constituindo, regra geral, um factor de valorização na construção.

É na procura pelo objectivo de ver a pedra natural como um elemento certificado para a construção sustentável que foi criado em 2003 o Natural Stone Council (NSC).

Na realidade, a Comissão para a Sustentabilidade NSC tem desenvolvido um conjunto de práticas, não só para a eliminação de quaisquer equívocos sobre a pedra natural, mas também para garantir que a pedra é extraída e manufacturada localmente e por produtores e fabricantes que reciclem resíduos de produto e água da mais “verde” maneira possível. Estas práticas incidem sobre a qualidade da água e do ar, segurança e saúde, gestão de resíduos sólidos, estudos de impacto ambiental e recuperação.

Assim sendo, a pedra é um material altamente sustentável. Trata-se de um produto natural com um ciclo de vida durável, sendo considerada por muitos profissionais de desenho um material de Green Building, não só porque pode contribuir directamente para os requisitos especificados pelo LEED, como também ter manutenção baixa num ciclo de vida extremamente longo e ser ainda de reutilização fácil.

#### F) BETÃO APARENTE E BLOCOS DE CIMENTO E TIJOLO MACIÇO

Numa lógica contrária à introdução de materiais de revestimento, o próprio material de construção da parede pode servir de revestimento final, diminuindo assim os custos da construção. Os materiais mais utilizados neste caso são: o betão aparente, que pode ter uma coloração através da introdução de um pigmento no cimento; os blocos de betão leve, próprios para revestimento exterior e os blocos de tijolo maciço cozidos, que contrariamente aos blocos de tijolo furado, têm características que lhes permite uma utilização em contacto directo com o exterior. A durabilidade dos materiais é relativamente elevada, apesar de no caso do betão aparente este ter que apresentar características hidro-repelentes reforçadas. Caso se tratem de construções junto ao mar também terão de ser tomadas medidas especiais, para evitar o ataque dos cloretos ao betão. Ambientalmente o betão não é das melhores soluções, pois requer uma indústria de transformação e extracção energeticamente dispendiosa. O facto de se poderem utilizar materiais reciclados é uma atenuante.

#### H) SISTEMA CAPOTTO - ETICS

Para dar resposta às crescentes preocupações oriundas das exigências do conforto higratérmico que estão intrinsecamente associadas às inquietações relativas ao sobreconsumo de energia e protecção ambiental torna-se imprescindível isolar termicamente a envolvente dos edifícios com o intuito de minimizar as trocas de calor com o ambiente exterior com a consequente redução das necessidades de aquecimento/arrefecimento. O sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System – Sistema de Isolamento Térmico Pelo Exterior) apresenta-se vantajoso no que concerne a edifícios com isolamento térmico insuficiente. Este sistema, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo, constitui uma solução técnica de alta qualidade pois contribui para a redução das pontes térmicas.

A figura 12 procura esboçar este tipo de funcionamento.

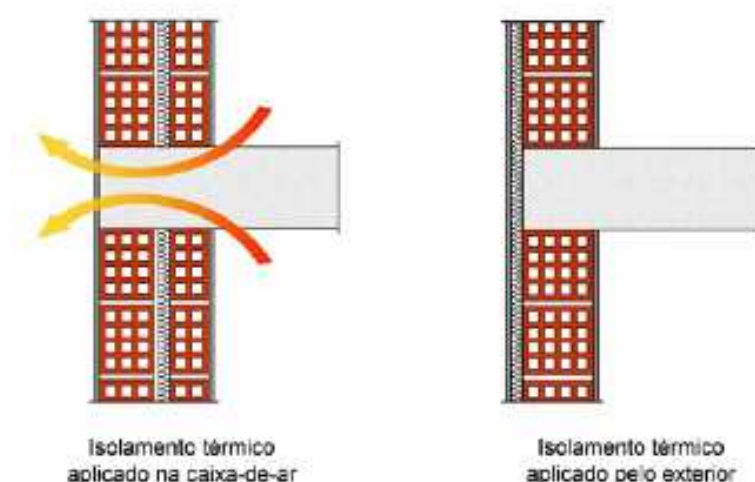


Figura 12 – Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas (Fonte: apontamentos de Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP 2008)

Para além disso, o sistema ETICS contribui para o aumento da inércia térmica interior dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior do isolamento térmico. Este facto traduz-se na melhoria do conforto térmico de Inverno, por aumento dos ganhos solares úteis, e também de Verão devido à capacidade de regulação da temperatura interior. Perante esta redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior obviamente que o edifício se torna mais económico em termos energéticos evoluindo assim para uma construção rumo à sustentabilidade.

As características conferidas pela melhoria da impermeabilidade das paredes, aumento da protecção conferida ao tosco das paredes face às solicitações dos agentes atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, etc.), possibilidade de mutação do aspecto das fachadas e colocação em obra sem perturbar os ocupantes dos edifícios, torna esta técnica de isolamento particularmente interessante pois confere ao usuário um maior conforto térmico que se repercute numa maior sustentabilidade tanto social como económica como ambiental. [38]

Permite a redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura, contribui para a diminuição da espessura das paredes exteriores, aumentando a área habitável e possui ainda grande variedade de soluções de acabamento.

De um modo geral, os sistemas de isolamento pelo exterior são constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte e um paramento exterior para protecção, em particular, das solicitações climáticas e mecânicas.

Actualmente no mercado os ETICS que mais facilmente se podem encontrar são constituídos por placas de poliestireno expandido (EPS) revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro. Como acabamento é utilizado, geralmente, um revestimento plástico espesso (RPE) como é possível verificar pela ilustração da figura 13.



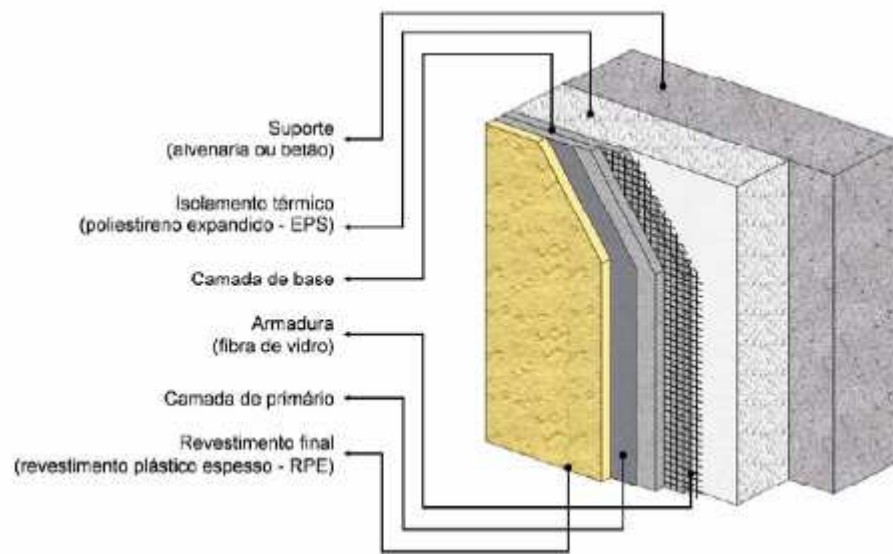


Figura 13 – Composição de um ETICS constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido (Fonte: Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido – ETICS)

Esta camada de acabamento contribui para a protecção do sistema contra os agentes climáticos e assegura o aspecto decorativo. É aplicada sobre a camada de base ou sobre a camada de primário.

#### H) ALUMÍNIO

Actualmente as construções modernas adoptam alumínio em projectos arrojados pois este material apresenta elevada leveza, facilidade de manutenção, transporte e manuseio, design, boa aparência que dá um tom futurístico às construções e durabilidade com uma vida útil superior a 40 anos (muito maior que a do aço, que é de cerca de 15 anos, por exemplo). O uso do alumínio na construção civil facilita a criação e idealização de projectos arquitectónicos, graças à sua versatilidade e elevada resistência mecânica. Na parte externa, é crescente o uso o metal como revestimento de fachadas. (Fotografia 10)



Fotografia 10 – Exemplo de fachada revestida a alumínio

Às já consagradas qualidades do alumínio na construção civil, uma outra pode ser acrescentada: sustentabilidade. Os motivos são vários: além de poder ser reaproveitado e reciclado, o alumínio está presente em diversas soluções inteligentes nas chamadas construções verdes e é cada vez mais utilizado nas obras por quem busca obter uma certificação internacional de arquitectura sustentável. As construções verdes em alguns países são ainda novidade, mas já existem muitos exemplos nos Estados Unidos e na Europa. No entanto, o próprio mercado cada vez mais exige que as edificações sejam progressivamente mais ecológicas, seja por conta do aumento da preocupação da sociedade com as alterações ambientais produzidas pelo Homem, seja pela necessidade de economia com manutenção e maior conforto dos usuários da construção. Tal como tem vindo a ser dito anteriormente, uma das maiores preocupações da concepção sustentável de edifícios é a escolha dos materiais utilizados nas obras.

Tal como explica Mülfarth [16] *“É preciso levar em consideração o ciclo de vida do material construtivo, que é a possibilidade de desmontar e reutilizar mantendo as características do produto e suprimindo a necessidade de produção de materiais novos. O alumínio, apesar de ser um material que tem uma energia embutida alta (consome muita energia no processo de produção), tem uma vida útil formidável, portanto é sustentável”* Segundo Ferreira [39] *"O alumínio é um dos materiais mais sustentáveis no mundo, com cerca de 73% de todo o material produzido ainda em uso"*

A simplicidade do processo de reciclagem é um dos maiores factores de sustentabilidade do alumínio. A sua reciclagem representa uma economia de 95% na energia eléctrica em relação à energia gasta para produção de alumínio primário. A pesquisadora Mülfarth explica que antes da reciclagem está a reutilização, propriedade igualmente importante no alumínio.

Muitas vezes a maior durabilidade do material sustentável, característica importante do ponto de vista ambiental, tão pouco é levada em consideração. Por vezes o preço dos produtos sustentáveis é mais alto, só que é preciso considerar que ao comprarem-se materiais convencionais, cuja vida útil geralmente é mais curta, não se paga os custos sociais ou ambientais de sua produção – como os resultantes da contaminação da água ou do ar, ou do desmatamento.

Não bastasse tudo isso, o alumínio ainda está presente noutras soluções inteligentes das construções verdes, como nos painéis de energia solar, persianas e *brises*. O alumínio utilizado em coberturas ou fachadas, nos edifícios novos ou antigos, passa um sentido único de futurismo e modernidade. [40]

A sua planicidade, durabilidade, leveza e plasticidade, além da rápida instalação, são alguns atributos que ajudam a explicar porquê é utilizado há muitos anos nos E.U.A., com excelentes resultados.

#### I) INOX NA ENERGIA SOLAR

É crescente o uso de sistemas solares em todo o mundo e esta tendência pode ser justificada pela consciencialização da sociedade moderna quanto à importância da sustentabilidade.

O aço inoxidável é um material utilizado com certa constância pelos fabricantes de equipamentos termo solares. A capacidade de reciclagem é um factor-chave para a avaliação das propriedades ambientais de um determinado material. Nesse sentido o aço inoxidável tem uma óptima performance. Objectos de aço inoxidável podem não se tornar lixo no final de sua vida útil, pois, separados e recuperados, os seus componentes (ferro, cromo, níquel) entram novamente no processo de fabricação do material. A reciclagem do aço inoxidável não é apenas teoria, mas realidade. Produção e reciclagem não são fases separadas no ciclo de vida do material; fazem parte da mesma etapa. Os mais importantes ingredientes da produção do inox são exactamente o aço inoxidável reciclado e minérios na forma de ferro-ligas. Actualmente, qualquer objecto de aço inoxidável tem um conteúdo reciclado



médio de 60%. Desse total, 25% vêm de produtos em fim de vida e 35% do material retornado da produção e manufactura. O índice de 60% só não é maior porque o consumo do material vem crescendo ao longo dos últimos anos. Portanto, mesmo que todo o material produzido há trinta anos, que tivesse esgotado seu ciclo de vida útil, fosse reciclado, não seria suficiente para atender à procura. Pelas características de produção do inox, não se deve falar no seu consumo como esgotamento das suas possibilidades, mas como parte de um sistema sustentável de ciclo fechado. Resumindo, a escolha do aço inoxidável proporciona performance e protecção dos recursos naturais.

As principais características do aço inoxidável relacionadas com a aplicação em sistemas solares para aquecimento de água incluem: excelente resistência à corrosão; elevada resistência mecânica; boa soldabilidade; óptima conformabilidade; baixa condutividade térmica, comparada a outros metais; e baixo coeficiente de expansão térmica.

A figura seguinte compara as propriedades de materiais utilizados em sistemas solares para aquecimento de água. A partir dela o potencial de uso do aço inoxidável em sistemas solares para aquecimento de água pode ser avaliado.

	Inox	Ferro	Cobre	Zinco	Alumínio
Peso específico ou densidade [kg/dm <sup>3</sup> ]	7,7 – 8,0	7,87	8,96	7,14	2,69
Módulo de elasticidade [kN/mm <sup>2</sup> ]	200 – 220	210	132	90	65
Coeficiente de expansão térmica* [10 K <sup>-1</sup> ]	10,0 – 16,5	12,1	16,8	36	23,8
Condutividade térmica [W/(m·K)]	15 – 25	81	401	116	160
Capacidade calorífica [J/(kg·K)]	460 – 500	449	385	388	900
Resistência à corrosão atmosférica**	+++	0	++	++	++
Ponto de fusão aproximado [°C]	1.500	1.536	1.083	419	660
* entre 20°C e 100°C		** +++ muito boa, ++ boa, + razoável, 0 insuficiente			

Figura 14 – Comparação das propriedades de materiais utilizados em sistemas solares para aquecimento de água

#### J) VIDROS

Projectos com fachadas de vidro precisam trabalhar duas questões: com o vidro, a luz natural é muito boa e a sensação de enclausuramento é afastada, proporcionando conforto. Mas ao mesmo tempo deixa entrar carga térmica, por isso, seria preciso trabalhá-la com inovações tecnológicas. Ao diminuir a carga térmica, não seria necessário comprar um ar-condicionado mais potente e caro, e poder-se-ia gastar mais na construção sustentável, como nas películas para os vidros.

A energia captada depende da intensidade da radiação solar incidente no envidraçado, da área e do seu factor solar. O factor solar de um envidraçado é o quociente entre a energia que entra através dele e a radiação solar que nele incide.

Este facto é esquematizado na figura nº15 apresentada de seguida.

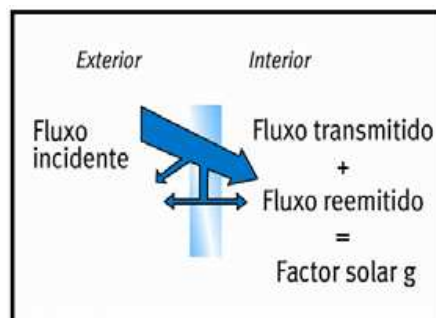


Figura 15 – Fluxograma de Transmissão térmica

No Inverno, a energia solar contribui para reduzir as necessidades de aquecimento; no verão contribui para aumentar as necessidades de arrefecimento.

Esta capacidade de captar a energia do sol é um dos principais contributos para o conforto que os espaços interiores oferecem e um dos principais responsáveis para reduzir a factura energética. As áreas envidraçadas são a componente do edifício que permite a interacção mais directa com o clima, devendo ser adequadas a este último. Para alcançar condições de conforto no interior ocorre um equilíbrio entre as áreas receptivas (que reagem ao clima de forma instantânea) e as áreas opacas (que, pela sua estabilidade, atenuam o impacto das incidências extremas do clima).

Por este motivo, é natural que uma construção sustentável seja adequada ao clima em que está inserida, procurando o equilíbrio entre as paredes opacas e as áreas receptivas aos raios solares. Este equilíbrio deve ser calculado a partir dos primeiros esboços e conceitos que se desenvolvem para o projecto.

Existem vidros dos mais diferentes tipos que possuem capacidades distintas em absorver, refletir ou transmitir a radiação solar.



Fotografia 11 – Pirâmide do Louvre Paris – (Fonte: foto da autora)

O desenvolvimento tecnológico tornou o vidro duplo mais sofisticado e deu-lhe qualidades que contribuem para otimizar o desempenho energético – ambiental dos edifícios, ao ponto de existirem sistemas envidraçados que atingem um grau de desempenho energético similar ao de uma parede maciça vulgar.

Com o aumento da selectividade em relação ao que passa do exterior para o interior (e vice-versa), já é possível deixar crescer as áreas envidraçadas em proporção às áreas opacas da fachada para obter, no interior, um maior grau de luminosidade, sem prejudicar o desempenho energético - ambiental do edifício. Mas para garantirem o conforto e para poderem cumprir o novo enquadramento legal, as grandes áreas envidraçadas que, sem dúvida, constituem um sinónimo de modernidade e de sofisticação, devem possuir características técnicas muito próprias. É necessário que se estabeleça um equilíbrio adequado entre áreas opacas (paredes cuja inércia térmica armazena a temperatura média do clima) e áreas envidraçadas (que permitam uma interacção imediata com a radiação solar e a temperatura exterior) na envolvente do edifício de habitação.

Para alcançarmos um excelente desempenho energético – ambiental, o Engenheiro Térmico terá que ser envolvido neste processo de concepção, sendo ele quem dará os contributos quantitativos, tanto no que diz respeito à dimensão dos vãos, como à especificação do sistema, sempre sujeito a desenvolvimento tecnológico.

Em Londres, o edifício da Swiss Re, projecto de Norman Foster (Fotografia 12) foi considerado o primeiro arranha-céus ecológico de Londres. Esta edificação em forma de projectil tem já a fachada totalmente envidraçada como sendo a própria estrutura. Tem um sofisticado sistema de fachada dupla ventilada e átrios que percorrem em espiral o interior da torre e que permitiram a redução do consumo energético em cerca de 50%.

Exemplar da arquitectura do século XXI, o prédio resulta da qualidade projectual apoiada em informações tecnológicas e pesquisa ambiental, para criar uma torre compatível com os tempos de crise energética.

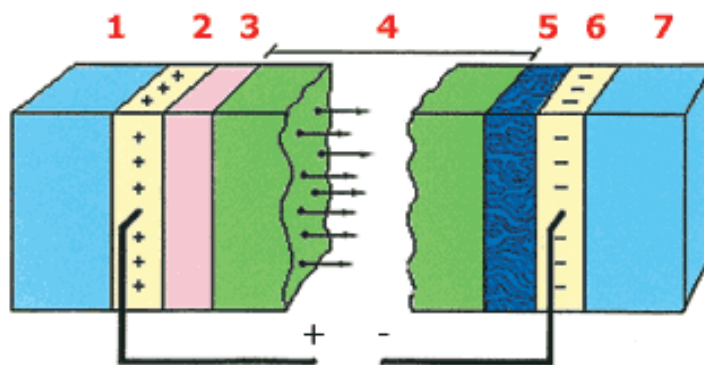


Fotografia 12 – Edifício da Swiss Re – Londres – (Fonte: foto da autora)

Noutros países europeus há excelentes exemplos de projectos que resultaram em mega edifícios com soluções direccionadas para a redução do impacto ambiental das construções. A sede da Telenor em Oslo, Noruega, é um conjunto de edificações com 158 mil metros quadrados que utiliza fachadas e coberturas de vidro - para tirar proveito de iluminação e ventilação naturais - e água do mar nos sistemas de calefação e refrigeração. Entre os seus sofisticados dispositivos está um sistema de movimentação de brises que calcula a posição do sol, enviando informações para uma unidade de controlo, que responde, fornecendo um diagrama anual de sombreamento.

#### ▪ JANELAS INTELIGENTES – VIDROS ELECTROCRÓMICOS

Janelas inteligentes, desenvolvidas a partir de vidros eletocrómicos, proporcionam aos usuários a possibilidade de interferência, uma vez que o vidro apresenta características distintas de transmissão à radiação solar, quando polarizado ou despolarizado. Dessa maneira, pode-se minimizar o consumo de energia de uma edificação, com a racionalização do uso de sistemas de ar condicionado e de iluminação artificial, considerando que, ao longo do dia, o usuário vai definir quando permitirá ou não a passagem da radiação solar. Os dispositivos eletocrómicos apresentam a estrutura de sanduíche, composta por filmes finos que mudam sua coloração conforme a aplicação de potencial eléctrico nos seus condutores electrónicos. São formados por cinco filmes finos prensados entre dois substratos de vidro. O dispositivo é constituído de dois condutores iónicos; um filme fino eletocrómico; electrólito (condutor iónico); e um reservatório de iões de lítio ou hidrogénio. O fenómeno de mudança de coloração está ligado à inserção de iões de lítio ou hidrogénio que vêm da camada de electrólito para a camada de filme eletocrómico, geralmente formado por óxidos de tungsténio em que ocorre brusca mudança de coloração, passando de quase transparente para azul-escuro. (Figura 16)



1 e 7 – Vidro; 2 e 6 - Condutor transparente; 3 - Reservatório de íons;  
4- Electrólito; 5-Filme eletocrómico

Figura 16- Esquema de janela electrocrómica (Fonte: arcoweb, 2007)

Devido à aplicação de potencial ou corrente eléctrica, os dispositivos eletocrómicos mudam a sua coloração, pois quando estão desactivados encontram-se no estado incolor, e quando activados passam a apresentar determinada coloração (azul, verde, amarelo, vermelho e cinza). Essas mudanças de coloração, através da polarização, dependendo do filme eletocrómico utilizado, filtrarão de maneira selectiva a radiação solar, podendo atenuar a entrada de raios infravermelhos na edificação. Estes representam cerca de 52% do total da radiação solar, cuja entrada no interior da edificação é altamente indesejável no verão e, por vezes, desejável no Inverno. Se for necessário ou adequada a penetração da



radiação infravermelha no Inverno, a janela deve permanecer no estado despolarizado (incolor e transparente). Caso a situação exija a atenuação da passagem de calor (infravermelho), o dispositivo electrocrómico deverá ser activado. Esse controle deve ser accionado pelo usuário ou, preferencialmente, por sistemas automatizados incorporados ao edifício, implicando grande economia no consumo de energia. Procurou documentar-se a situação nos instantâneos contraditórios que constituem a fotografia 13.



DESLIGADO



LIGADO

Fotografia 13 – vidro electrocrómico na Unisys - Amsterdão, Holanda (Fonte: SGG PRIVA-LITE)

#### L) COBRE

O cobre é um material com vida longa pela sua extraordinária resistência à corrosão, inclusivamente face às atmosferas agressivas das grandes concentrações urbanas. É portanto durável, chegando até, em condições normais de uso, a durar por mais de uma centena de anos.

Pela sua versatilidade de desenho combina e adapta-se às várias soluções e desafios propostos pelos arquitectos e demais profissionais da construção civil, dando forma e condições para atender ao bom desenho técnico das coberturas, dos revestimentos e pormenores decorativos. Detalhes extremamente complexos podem ser executados em cobre devido à sua ductilidade, podendo inclusivamente ser trabalhado a baixas temperaturas. A rapidez de seu manejo, colocação e união de suas chapas permite uma ampla conjugação de formas por parte dos arquitectos associada a uma significativa redução dos custos na mão-de-obra.

O cobre, tecnicamente torna-se uma boa opção de uso económico, pois não necessita de manutenção ou limpeza. O seu custo inicial e final são minimizados pela utilização racional dos seus perfis e acessórios, principalmente nas coberturas de edifícios apresentando excelente desenho, com um custo/benefício compatível e acessível, pois oferece melhores condições de competitividade frente a outros metais

Apresenta características significativas pela sua faculdade de reciclagem sem a perda de suas propriedades físicas, químicas, mecânicas e outras que o recomendam como solução definitiva na arquitectura, num estreito vínculo com o património histórico e cultural das cidades.

Possui boa resistência mecânica de forma ao resistir aos esforços no processo de dobragem, encaixes e manipulação por partes dos operários. Oferece ainda as seguintes vantagens:

Resistências aos agentes biológicos – as pesquisas e experiências do uso e aplicações no campo da edificação industrial contaminante, juntamente com o aço inoxidável, tem revelado que estes são os materiais mais resistente à acção dos ácidos e detergentes fortes. Oferece ainda superfícies passíveis de serem lavadas, sem corrosão e riscos para a saúde.

Resistência ao fogo – pela alta temperatura de fusão (1.083 °C) é resistente ao fogo apresentando um atraso significativo na sua propagação frente a outros materiais.

Resistência a trocas de temperatura - as causas mais comuns do aparecimento de patologias no sistemas de coberturas em geral são as contínuas variações de temperatura e deterioração dos materiais, obrigando os usuários a frequentes e numerosas reparações. Estas falhas não se apresentam nas coberturas em cobre, pois o mesmo expande-se e contrai-se consideravelmente menos que os outros materiais. Quantitativamente movimenta – se em cerca de 40% menos do que o chumbo e o zinco.

### 3.3. PAREDES TROMBE

Debrucemo-nos agora sobre uma das soluções de captação de radiação solar com envidraçados em climas mais frios do hemisfério norte como é o caso de certas zonas de Portugal. A integração da Parede Trombe na Arquitectura é relativamente simples. Vista pelo lado exterior, aparenta ser uma janela e, pelo interior, assemelha-se a uma parede comum. As Paredes Trombe são colocadas nos alçados orientados a Sul (fachada que no hemisfério norte recebe mais luz solar), nos espaços em que se pretenda receber ganhos solares indirectos durante os meses frios do ano, aproveitando, durante a noite, o calor que acumularam durante o dia. Esta medida contribui para aumentar o conforto térmico e para reduzir as necessidades energéticas dos edifícios habitacionais com alçados orientados a Sul.



Fotografia 14 – Aspecto exterior de uma Parede Trombe (Casa Schäfer, Porto Santo, Portugal)  
(Fonte: ABAE)

As Paredes Trombe são sempre orientadas a Sul, porque apenas nesta posição é possível captar a maior intensidade da radiação solar (período entre o final da manhã e o início da tarde). Esta orientação favorece a baixa altitude solar (Inverno), sem prejudicar o conforto com ganhos indirectos

excessivos durante o verão. Durante o verão, estas paredes, que são exclusivamente orientadas a Sul, não têm capacidade significativa para acumular os raios solares, dado que o sol incide num ângulo muito íngreme sobre o vão envidraçado que as protege, resultando na reflexão da maior parte da radiação. O esquema de uma Parede Trombe é ilustrado na figura 17 evidenciando as diferenças do seu comportamento entre as quatro estações do ano.



Figura 17 - Esquema do de uma Parede Trombe consoante as estações do ano. (Fonte: ABAE)

Quadro 11- Constituintes e vantagens da Parede Trombe

Composição	Vantagens
Um vão envidraçado com vidro duplo orientado a Sul	Não necessitam de manutenção
Por uma caixa-de-ar com, aproximadamente, 20 mm	Funcionam como radiadores gratuitos aquecendo os espaços em que se encontram, sempre que haja sol no Inverno.
Uma parede de betão de 200 mm de espessura	Capacidade de acumular o calor dos raios solares durante os dias de Inverno com céu limpo (dias mais frios) e transmitir de noite o calor acumulado para o interior dos espaços, o que é particularmente positivo no contexto climático Mediterrânico.
Na face exterior, é pintada com uma cor muito escura (absorção dos raios solares)	
Na face interior, estucada e pintada, ficando com um aspecto idêntico a qualquer outra parede na habitação	Uma Parede Trombe pode satisfazer até 15% das necessidades de aquecimento no período de Inverno quando correctamente dimensionada e orientada a Sul.

Segundo o Professor Nick Baker [41], a transferência de calor por uma Parede Trombe é de cerca de 18min por cada 10mm de espessura. Numa parede de 200mm de betão, a parede retarda em 6 horas

( $1820=360\text{min}=6\text{h}$ ) a irradiação do calor armazenado. Com o início da absorção da radiação solar no Inverno por volta das 12h (11h solares), a parede começará a irradiar calor para o espaço interior por volta as 18h (fim de tarde, início de noite).

A pormenorização é essencial para uma boa execução do projecto. Dado que as Paredes Trombe são um pormenor construtivo ainda pouco comum, é essencial que este seja minuciosamente pormenorizado para que o resultado seja aquele que se pretende. Um aspecto muito importante é o pormenor dos bites do caixilho do vão envidraçado que protege a Parede Trombe pelo exterior, que devem ser montados (e manterem-se desmontáveis) pelo exterior, no caso de substituição desse vidro. Outro cuidado importante a ter na pormenorização e execução de uma Parede Trombe é o isolamento térmico em volta da caixa-de-ar que separa o vão envidraçado da parede de betão, para que o calor acumulado não seja libertado sem o ser através do próprio betão. Na figura 18 está apresentado o pormenor construtivo de uma parede Trombe onde se pode observar em detalhe o isolamento térmico com poliestireno expandido, a cobertura de alumínio, o estuque e o rodapé.



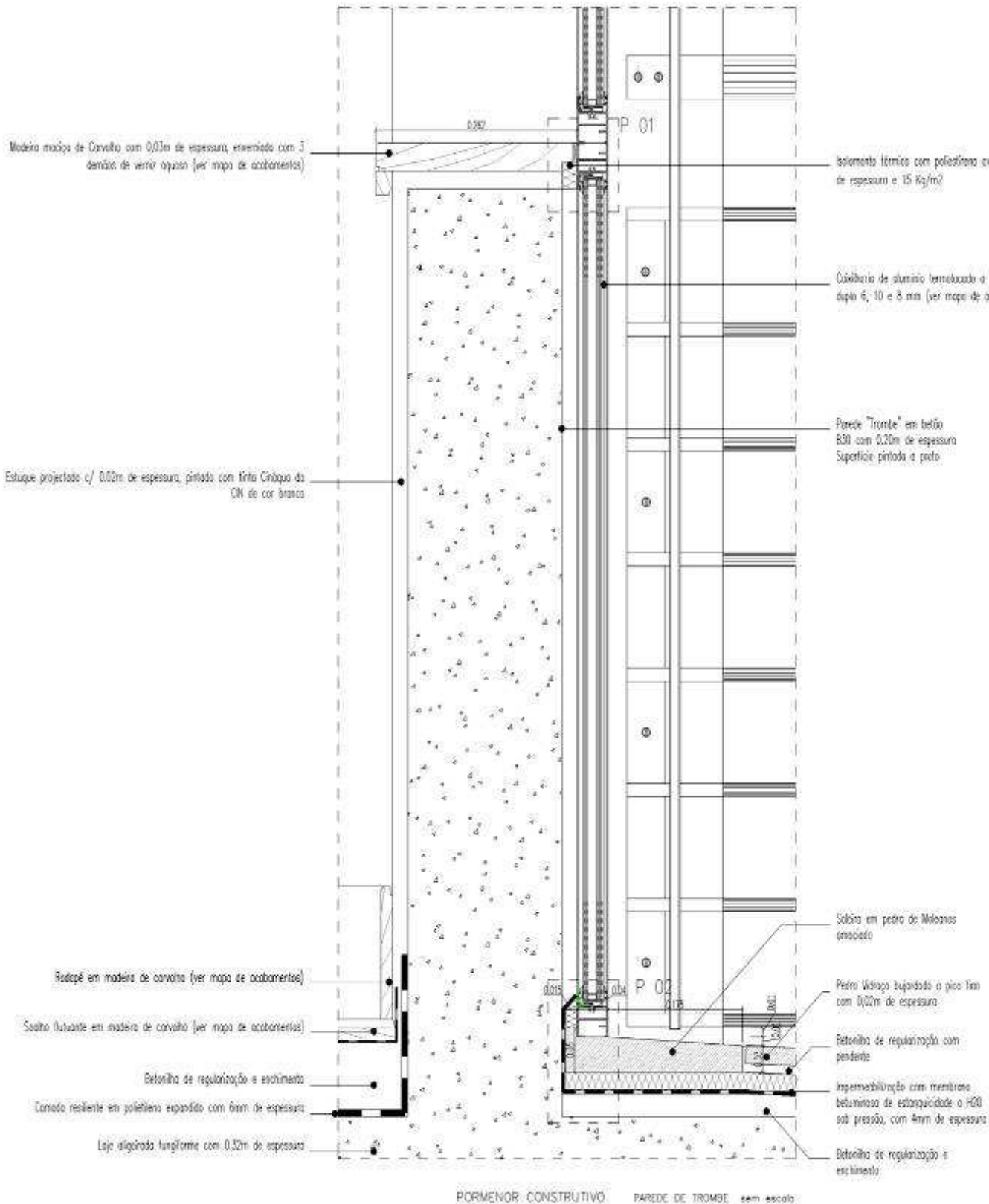


Figura 18 – Pormenor construtivo de uma parede Trombe ([www.tironenunes.net](http://www.tironenunes.net))



# 4

## CASOS DE ESTUDO

### 4.1. INTRODUÇÃO

Numa primeira fase da monografia considerou-se a hipótese de usar como casos de estudo edifícios de referência da bibliografia internacional sobre revestimentos de fachada e sobre eles proceder a um estudo mais profundo.

Em fase posterior, porém, optou-se por explorar edifícios relativamente recentes do nosso país e do Brasil que tiveram na sua concepção, cuidados com a arquitectura bioclimática e testá-los para verificar a validade das soluções consideradas. Considerou-se que, com esta opção, se daria ao trabalho um cariz mais singular e inovador.

Em conformidade seleccionaram-se dois edifícios da cidade do Porto e um terceiro situado na ilha da Madeira. Os exemplos do Brasil resultaram da participação da autora no programa de intercâmbio MOBILE e têm o interesse de mostrar situações localizadas no Hemisfério Sul. Dada a maior superficialidade da abordagem a estes casos, optou-se por considerá-los como uma unidade, relevando os factores de interesse da arquitectura bioclimática do conjunto dos edifícios.

O primeiro caso estudado, o edifício insular, destina-se ao lazer e integra o Parque temático da Madeira. Foi seleccionado por manifestar uma harmonia intrínseca com as características naturais da ambiência envolvente.

Relativamente aos casos de estudo portugueses a escolha incidiu sobre as novas instalações do INEGI-Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial do campus da FEUP e pelo empreendimento Burgo situado em plena Avenida da Boavista.

Desde logo o edifício do INEGI revelou-se um projecto apelativo por se tratar de um local de investigação e inovação com muito interesse no desenvolvimento de projectos de carácter de sustentabilidade ambiental como energias renováveis, gás natural etc... Dada a sua funcionalidade pareceu interessante à autora do trabalho verificar se este conceito de luta por um mundo mais ecológico, com menos teores de dióxido de carbono enviados para a atmosfera e menores consumos de energia também se repercute na envolvente exterior do edifício.

O empreendimento Burgo foi o caso de estudo mais enigmático dos três por se tratar de um edifício muito bem planeado e com excelente concepção e, simultaneamente, apresentar um invólucro externo tão simples e linear.

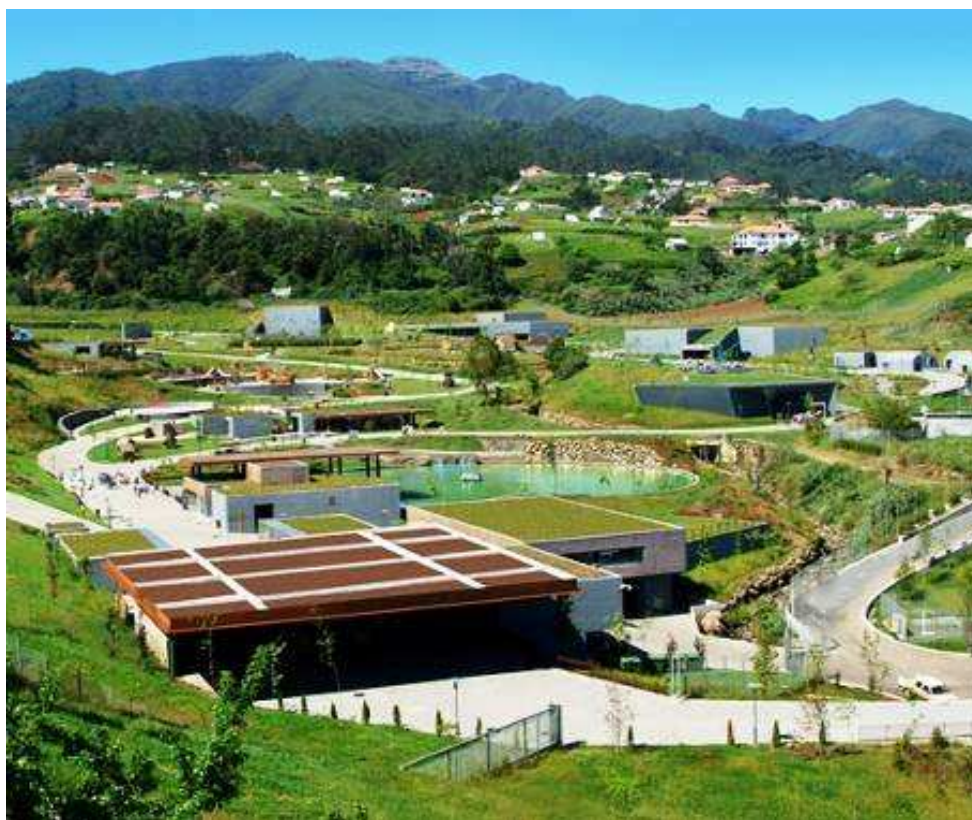
Assim, após a leitura atenta de muita bibliografia, memórias descritivas, comunicação com coordenadores dos projectos, engenheiros envolvidos, arquitectos dos edifícios e reuniões com as construtoras fornecedoras dos materiais, procurou-se enaltecer as características de cada revestimento usado nos três casos de estudo, vantagens da sua aplicação e o porquê da escolha ter recaído sobre si.

## 4.2. PARQUE TEMÁTICO DA MADEIRA

### 4.2.1. PREÂMBULO

O presente caso de estudo é a prova viva que a madeira ainda continua a ser um sustentável material usado para o revestimento das fachadas.

O Parque Temático da Madeira é um vasto espaço com 7 hectares de área útil, onde os visitantes de qualquer faixa etária poderão embarcar numa viagem de descoberta pela Madeira e Porto Santo, conhecer as suas raízes, familiarizar-se com a cultura e tradições das suas gentes, vibrar com a beleza invulgar das suas paisagens, explorar um imenso Parque-Jardim e sentir a força de uma natureza viva e única. Uma viagem que atravessa a fronteira de memória e da tradição, sobrevoa a natureza e termina onde a imaginação de cada um o levar.



Fotografia 15 – Parque temático da Madeira – vista geral (Fonte: <http://vp.gov-madeira.pt/sdd/galeria/tematico.jpg>)

O projecto de arquitectura foi desenvolvido entre 2002/2004 pelo arquitecto Duarte Caldeira e Silva e fica situado em Santana, na Madeira.

O complexo é constituído por um conjunto disperso de edifícios implantados num parque verde. Os edifícios albergam as mais variadas actividades, desde os destinados a pavilhões de exposições, de cinema com simulador ou de espectáculos multimédia, até a museus, restaurantes, cafés, lojas e serviços. Situa-se numa ambiência rural onde os socalcos agrícolas fazem o cenário da paisagem de Santana, na zona Norte da Ilha da Madeira.

O espaço onde o empreendimento se desenvolve fica inserido num pequeno vale, envolvido por arvoredo e montanhas. No vale corre um ribeiro que convida a um agradável passeio de barco. Em alguns lugares do parque brotam nascentes e a vegetação cresce com intensidade verificando-se assim uma comunhão indissociável dos edifícios com o ambiente natural que o circunda. A figura 19 dá-nos a planta geral do Parque, com planimetria e altimetria representada por curvas de nível. A fotografia 14, na página anterior permite uma perspectiva geral do complexo.

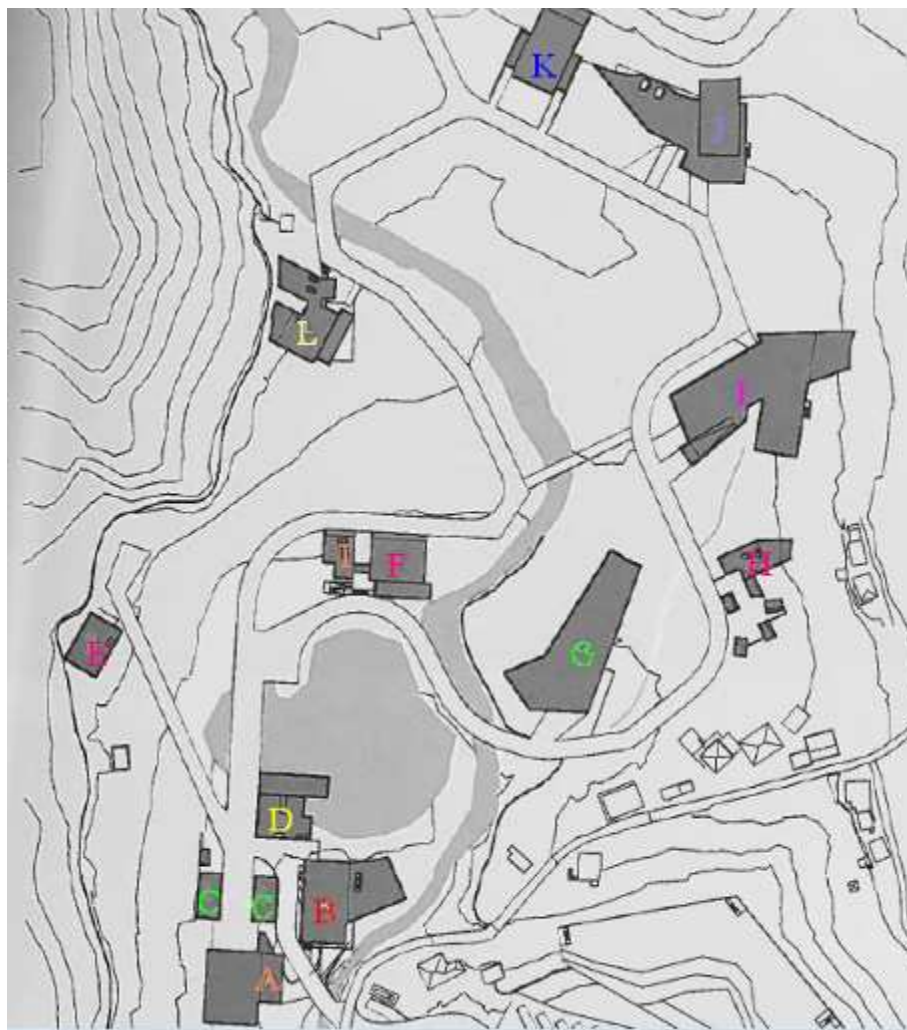


Figura 19 – Parque temático da Madeira – Planta Geral - (Fonte: Arquitectura Ibérica - Sustainability, 2006)

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| A - Apoio a visitantes     | G - Pavilhão 1                |
| B - administração /armazém | H - Núcleo de artesanato      |
| C - Lojas                  | I - pavilhão 2                |
| D - cafetaria              | J - pavilhão 3 /zona temática |
| E - Palco                  | K - pavilhão 4                |
| F - Restaurante            | L - Restaurante 2             |



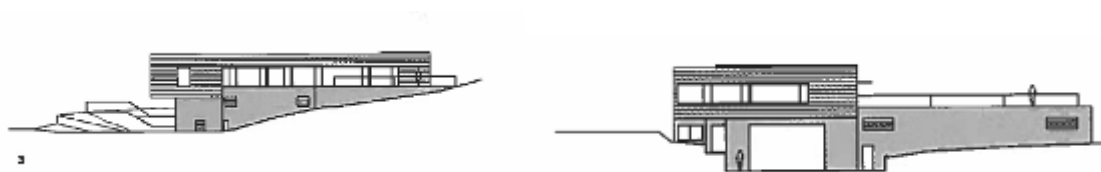


Figura 20 – Parque temático da Madeira - Alçados lateral e Frontal do Edifício B

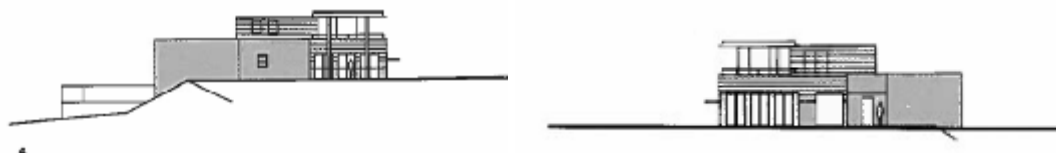


Figura 21 – Parque temático da Madeira – Alçado lateral e frontal do edifício D

(Fonte: Arquitectura Ibérica - Sustainability, 2006)

As construções que constituem o parque nascem nas encostas do vale e orientam-se na direcção dos socos, como se constituíssem um prolongamento da topografia do local. Construídos com paredes de betão com corante negro, semelhante ao basalto que predomina na região, partem do chão e estendem-se ao longo do terreno até encontrar as encostas onde desaparecem. Este efeito de integração no terreno é idêntico ao dos muros de suporte existentes nas vizinhanças.

Nas suas coberturas, o solo e a vegetação do parque estendem-se e prolongam-se como se de um terreno natural se tratasse. Os pavilhões, sendo as construções de maior dimensão deste conjunto, praticamente não têm aberturas para o exterior e são volumes cujas formas fazem lembrar erupções petrológicas pela sua opacidade e enorme massa. [42]



Fotografia 16 – Parque temático da Madeira – Aspecto da integração na topografia local (Fonte: Arquitectura Ibérica - Sustainability, 2006)

Para executar os edifícios, foram escavados os terrenos nas encostas e após a construção foram repostos na sua forma inicial, recobrendo a construção e envolvendo o seu exterior. Desta forma o

interior do edifício é também o interior da terra, das montanhas e também o interior da Ilha. Pretendeu-se dar este efeito de integração de volumes construtivos com a paisagem acidentada da região através dos alçados de dois edifícios (Figuras 20 e 21 anteriores) e com as fotografias reunidas sob o número 16.

Madeira de pinho, betão, aço cor-ten, vidro e vegetação são os materiais de construção desta arquitectura, paisagem que em contraste com as moradias rurais existentes nas proximidades, busca uma fusão com a envolvente natural, uma ligação ao terreno e à orografia da Madeira. [42]

O caso de estudo que aqui se irá abordar é o edifício D, todo revestido a madeira de pinho como se observa pela fotografia 17.



Fotografia 17 – Parque Temático da Madeira – Área envolvente do edifício do caso de estudo (Fonte: [http://buzico2.no.sapo.pt/Santana/PT-Santana\\_8.jpg](http://buzico2.no.sapo.pt/Santana/PT-Santana_8.jpg))

Para o fabrico de revestimentos de casas em madeira maciça, a de pinho é considerada pelos grandes especialistas mundiais como uma das que reúne melhores condições, sendo por estes assumida e referenciada como uma das mais indicadas e de melhor qualidade para as construções em causa. As árvores de onde foram extraídas as tábuas de madeira que revestem o edifício em estudo do Parque Temático têm entre 90 a 120 anos e crescem lentamente. Isto significa que o pinho adquire uma certa tonalidade avermelhada muito peculiar e única, uma estrutura densa e um crescimento simétrico o que se torna bom para criar estas grandes tábuas de madeira. [43]

As verdadeiras construções revestidas a madeira de pinho conservam todo o seu valor de geração em geração e resistem extraordinariamente bem até nos mais rudes climas.

A título meramente exemplificativo, muitos países economicamente mais desenvolvidos que Portugal como a Finlândia, a Suécia ou os Estados Unidos, privilegiam este tipo de revestimento para as fachadas das suas casas, sendo esta valência um factor muitas vezes decisivo na opção da escolha por parte dos compradores.

Existem muitas razões e motivos para a escolha recair sobre esta opção, devido ao ambiente acolhedor e tranquilo que se vive numa construção deste género. Uma casa em madeira respira tão bem e tem igualmente um impacto muito positivo para a saúde de quem nela permanece.

Existem também muitos outros motivos para nos encaminhar para a sustentabilidade que decorrerá associada a este revestimento.

De modo a completar o que foi referido anteriormente podem enumerar-se agora uma série de parâmetros com vista à sustentabilidade decorrentes da escolha deste revestimento do caso de estudo.



Fotografia 18 – Parque Temático da Madeira - Edifício da Cafeteria. (Fonte: Arquitectura Ibérica - Sustainability, 2006)

#### 4.2.2. ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS

##### 4.2.2.1. Escolha

É de lamentar o facto de não haver mais construções em madeira no nosso país, muito devido à falta de informação para os projectistas planearem construções com este material; a exiguidade de informação técnica até à publicação do euro código que estabeleceu regras para a construção em madeira de um modo correcto e disciplinado, foi, em grande parte, responsável pela situação.

A opção pela madeira de pinho, no presente caso de estudo, revelou-se uma escolha interessante não só por ser um material natural mas também devido ao seu carácter extraordinariamente versátil. Se a madeira for bem dimensionada pode dar as mesmas garantias estruturais que o betão ou o aço. Pela diversidade de árvores existentes é proposta uma variedade de tipos de madeira de pinho com características muito diferentes, da qual se poderá tirar o melhor partido em cada situação. A madeira de pinho apresenta um estilo muito próprio e adapta-se à escolha de qualquer comprador mais exigente como foi o caso do Parque Temático da Madeira.

Robustez e elegância, qualidades termo-acústicas e propriedades ergonómicas dos objectos, assim como o nobre envelhecimento do material orgânico, são características que complementam de maneira formidável a ordem e os princípios geométicos-arquitectónicos deste material.

##### 4.2.2.2. Durabilidade

A madeira é um material de alta resistência e fácil manutenção; contudo a sua durabilidade, tão contestada nos dias de hoje, irá depender muito da concepção e execução na aplicação destas tábuas no edifício em estudo.

É um material bastante resistente à acção de elementos externos como o vento e a chuva forte, o sol (Raios UV), humidade elevada, água e ao gelo e degelo o que associado a uma grande resistência à abrasão e ao choque, fazem deste revestimento um material com longa vida útil.



A madeira possui boa resistência à flexão, à tracção e à compressão resistindo por isso bem às dilatações e contracções provocadas pelas mudanças de temperatura.

Dada a importância do teor em água na determinação das propriedades da madeira, a sua secagem constitui um aspecto importante da indústria madeireira. A secagem consiste em extrair do interior da madeira o excesso de água, de forma permitir a utilização do material nas suas diversas aplicações. A evaporação da água leva a madeira a contrair-se, isto é, a diminuir de volume; a velocidade de secagem deve, portanto, ser adequada aos diferentes tipos de madeira de forma a evitar danos estruturais causados por variações dimensionais diferenciais, como o aparecimento de fendas ou empenamento. Em qualquer caso as madeiras ficam sempre sujeitas a retracção – a madeira retrai quando seca, sofrendo contracção que pode ser maior ou menor consoante as dimensões da peça e suas características. Muitas vezes a retracção é acompanhada por empenamento, isto é torção causada pela variação diferencial das dimensões, em geral determinada pela orientação das fibras que constituem a madeira.

Esta estabilidade dimensional característica da madeira de pinho no presente caso de estudo, apresenta-se no seguinte quadro onde são referidos valores de variações dimensionais segundo a norma de referência EN 636 (madeira de Espruce ou Pinho).

Quadro 12 – Variações dimensionais face à variação de 1% do teor em água da madeira de pinho

Variações dimensionais face à variação de 1% do teor em água		
Comprimento (%)	Largura (%)	Espessura (%)
0,015	0,015	0,2

(Fonte: Durabilidade do contraplacado para revestimentos de paredes exteriores – Ana lima e Márcio Monteiro Seminário 2004/2005)

Este material possui uma relação muito favorável entre peso e resistência bem como uma forte incompatibilidade à proliferação de fungos e térmitas embora não resista ao fogo.

Apresenta também bons coeficientes de condutibilidade térmica, devido à baixa densidade da madeira de origem, sendo deste modo um bom isolante térmico que se repercute em economias de energia.

Apresentam-se no quadro seguinte valores deste coeficiente, como exemplo para madeiras macias e duras.

Quadro 13 – Condutibilidade térmica de madeiras

	Madeiras macias	Madeiras duras	Madeira de pinho
$\lambda$ (W/m.°C)	0,12	0,15	~ 0,14

(Fonte: Durabilidade do contraplacado para revestimentos de paredes exteriores – Ana lima e Márcio Monteiro Seminário 2004/2005)

A ausência total de materiais sintéticos no isolamento que permite (dado as próprias paredes de placas de madeira serem isolantes) torna-o um bom material de bioconstrução.

#### 4.2.2.3. Sustentabilidade

Uma fachada em madeira demonstra ter uma maior capacidade de filtragem de poluentes activos existentes na atmosfera o que é uma vantagem considerável em relação à maior parte dos materiais utilizados no revestimento de fachadas. Esta ideia, associada ao facto da madeira ser uma matéria-prima biodegradável contrariamente à maioria dos outros materiais, permita que a sua eliminação ou reciclagem não levante quaisquer problemas ambientais. Muito pelo contrário, trata-se de um revestimento renovável e reutilizável cuja maior utilização nos conduz a níveis de vida mais saudáveis e naturais.

Uma fachada em madeira tem também uma capacidade importante de armazenar o calor possibilitando assim a retenção da temperatura interior rapidamente, e assim criar uma atmosfera confortável e relaxante no ambiente. Assim sendo o edifício torna-se quente no Inverno, quando as necessidades de calefação assim o requerem e mais fresco no Verão. Deste modo não se despendem verbas elevadas em sistemas de aquecimento ou de arrefecimento permitindo assim ao usuário usufruir de um conforto térmico mais natural sem ter de recorrer a dispositivos mecânicos.

Em resumo, a madeira é um elemento ecológico e saudável para viver (ausência de ácaros que provoquem inúmeras alergias e asma); requer baixo consumo energético; é um elemento natural o que facilita a sua integração no meio ambiente; a sua produção tem baixo impacto ambiental, pois não emite gases de efeito de estufa em valor considerável; possui alta resistência térmica junto a uma inércia térmica muito apreciável; não exige na sua elaboração e transformação um consumo significativo de energia fóssil.

#### 4.2.2.4. Aparência e custos e encargos

Possui também um grande número de espécies e tipos de madeira, com cores e texturas características e bem diferenciadas; só um material natural como a madeira podem conferir a beleza e nobreza à imagem do edifício.

A madeira tem preços muito competitivos comparativamente com o betão. A sua manutenção envolve custos muito baixos em média cerca de. A construção em madeira é mais rápida e mais económica.

A facilidade de pré-fabricação constitui também outra vantagem económica a ter em conta, desde que associada a uma boa planificação e standardização, sem esquecer também a economia inerente a um tempo de execução e montagem mais curto.

#### 4.2.2.5. Características mecânicas

As propriedades mecânicas que devem ser consideradas para este revestimento exterior são a tensão de rotura à flexão e o módulo de elasticidade à flexão.

Este revestimento, por ser um material anisotrópico, apresenta diferentes características físico-mecânicas tanto na direcção longitudinal como na transversal.

Na direcção longitudinal, apresenta uma resistência à flexão estática compreendida entre 40 a  $80\text{N/mm}^2$ , enquanto que na direcção transversal o valor diminui para um intervalo de 15 a  $50\text{N/mm}^2$ . [54] O seu módulo de elasticidade situa-se no intervalo entre  $0,33 - 0,27\text{N/mm}^2$ .

Tal como já se referiu anteriormente, o revestimento apresenta também variações de propriedades mecânicas em função do aumento da humidade como se traduz no quadro seguinte.

Quadro 14 – Diminuição das propriedades mecânicas do contraplacado em função do aumento da humidade

Propriedades mecânicas	Variação por cada 1% de humidade
Resistência à tracção	2,5%
Resistência à flexão	2,5%
Módulo de elasticidade	2,5%
Resistência ao corte	5%

(Fonte: SONAE industria)

De seguida apresenta-se o pormenor construtivo do revestimento de fachada em causa.

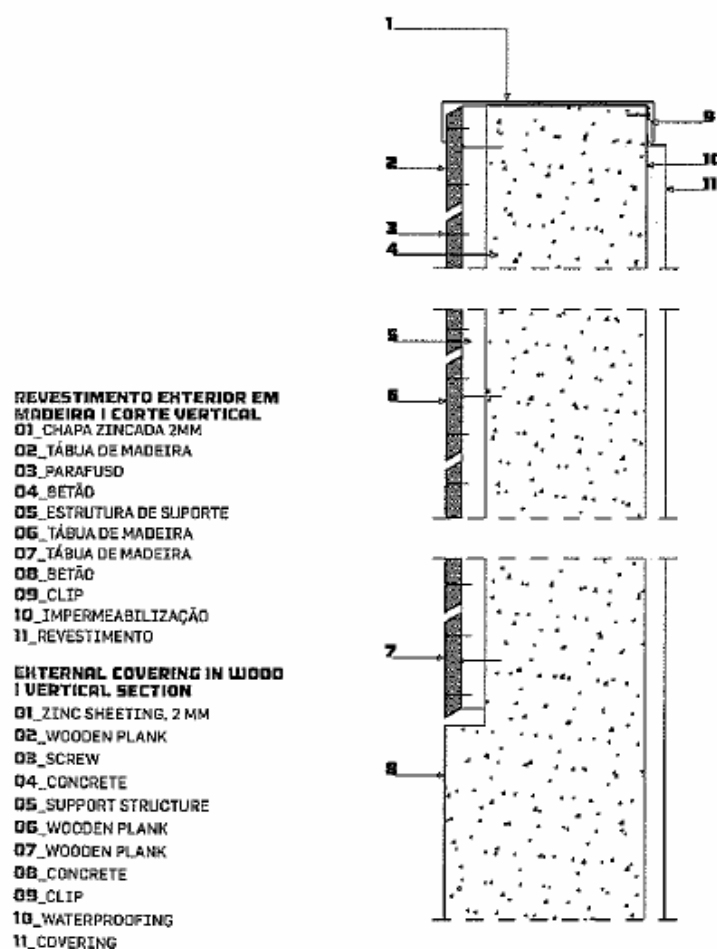


Figura 22 – Pormenor construtivo do Revestimento exterior em madeira (Fonte: Arquitectura Iberica Ano III Nº15 Junho 2006 - Sustentabilidade/ Sustainability)

### 4.3. INEGI – INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL

#### 4.3.1. APRESENTAÇÃO DO INEGI

O INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial é uma instituição de Interface entre a Universidade e a Indústria vocacionado para a realização de actividade da Investigação, Inovação e Transferência de Tecnologia Orientada para o desenvolvimento do tecido económico nacional.



Fotografia 19 – INEGI (Fonte: Foto da Autora)

Nasceu em 1986 no seio do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (DEMEGI) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Ao longo dos seus vinte anos de existência desenvolveu e consolidou uma posição de parceiro da indústria em projectos de inovação, investigação e desenvolvimento.

O INEGI apresenta-se como um Instituto de Investigação e Desenvolvimento de enorme potencial, com inúmeras provas dadas a nível Nacional e Internacional. Constitui-se hoje como uma entidade de Inovação de referência, reconhecida pelas empresas, os seus clientes, e por todo o tipo de instituições e parceiros.

#### 4.3.2. AS NOVAS INSTALAÇÕES DO INEGI/IDMEC

##### 4.3.2.1. Preâmbulo

As novas instalações do INEGI/IDMEC no pólo II da U.P. constituem parte de um complexo destinado à instalação de institutos de interface da Faculdade de Engenharia, a edificar no sector norte dos terrenos desta Faculdade.

O empreendimento encontra-se situado ao lado da Faculdade de Engenharia, na Rua do Dr. Roberto Frias, perto do Hospital de São João estando inserido numa zona urbana com uma elevada densidade de construções.

O caso de estudo é a Torre do Edifício do INEGI/IDMEC. É um edifício de escritórios, com oito pisos e 35 m de altura. Está localizada na cidade do Porto, Portugal com uma latitude de 41.1° em relação à linha do Equador, e longitude de 8.0° Oeste, em relação ao meridiano de Greenwich.



Fotografia 20 – Fachada exterior da Torre do INEGI (Fonte: Desconhecida)

O complexo é constituído por 3 volumes interligados, com funções diferentes:

Nave, corpo frontal e torre. A entrada principal é virada a Sul e feita pela Torre. Cada componente do novo edifício tem uma estrutura e função diferentes.

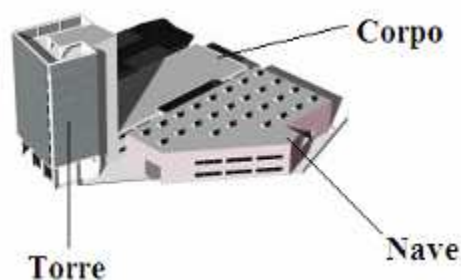


Figura 23 – os três componentes em que se subdivide a estrutura do edifício do INEGI

#### 4.3.2.2. Nave

A nave ocupa uma posição recuada a Norte e é destinada essencialmente à instalação de laboratórios reconfiguráveis. Em algumas áreas de actuação do INEGI há a necessidade de criar estruturas laboratoriais experimentais temporárias, com algum porte nomeadamente para estudos relativos à Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor ou na área dos Processos de Fabrico por Fundição.

A necessidade destes laboratórios serem reconfiguráveis prende-se com o facto dos projectos de investigação terem uma duração determinada, tipicamente dois anos, findo os quais é necessário reconfigurar os laboratórios para se adaptarem a novos projectos de investigação.

Esta nave é constituída por uma cave (parcial), um piso térreo (a nave) e um piso sobrelevado (parcial). A nave é constituída por uma estrutura reticular em betão armado, com cobertura metálica e paredes exteriores em blocos de cimento revestidos com chapa canelada em aço lacado.

A cobertura é plana e a iluminação, zenital, (o que em termos térmicos não é brilhante) é feita por lanternins orientados a Norte. O acesso principal à nave é feito a partir de um pátio junto a um caminho existente a Norte. Uma rampa comum à nave e ao corpo frontal dá acesso à cave. [44]



Figura 24 – Entrada para a Nave, onde se localizarão os meios de produção utilizados pelo INEGI  
(Fonte: Artigo: INEGI como agente de Inovação e Transferência de Tecnologia)

#### 4.3.2.3. Corpo Frontal

Ocupa a frente sul no seguimento das construções já existentes. O rés-do-chão está recuado de forma a dar continuidade à galeria coberta prevista para toda a frente dos institutos (via pedonal que dá acesso ao INESC).

Este corpo é composto por três pisos – cave, rés-do-chão e andar. Os dois primeiros destinam-se à instalação de pequenos laboratórios permanentes e estão ao mesmo nível dos pisos correspondentes da nave, permitindo uma relação funcional entre os dois edifícios. A antecâmara existente entre os dois corpos ao nível do rés-do-chão cria um espaço de transição iluminado por uma cobertura de vidro com estrutura metálica que torna esse ambiente bastante agradável e leve. No último piso situam-se os gabinetes dos técnicos e colaboradores que desenvolvem a investigação.

A estrutura deste corpo frontal é em betão armado, sendo as paredes exteriores revestidas com monomassa sobre isolamento térmico. As caixilharias são em alumínio anodizado. [44]



Figura 25- Torre e corpo do edifício (vista frontal do edifício) – (Fonte: Memória Descritiva INEGI)

#### 4.3.2.4. Torre

Dos três edifícios é o elemento que mais se destaca devido à sua verticalidade que se salienta perante os dois restantes corpos, muito mais baixos.

A torre é o edifício destinado à administração do INEGI e do IDMEC e às zonas de trabalho em gabinete e “open space”.

Um amplo átrio funcionará como piso técnico dos equipamentos de ar condicionado, elevadores) é amplamente envidraçado em duas frentes protegidas por um “brise soleil” fixo. As caixilharias são em alumínio anodizado. [44]



Figura 26 - Orientações expostas do edifício (vista aérea) – (Fonte: Desconhecida)

O conjunto consiste basicamente numa torre com grandes áreas envidraçadas a Este e Sul, e com quase nenhuma entrada de luz a Oeste. A fachada a Sul contém sombreadores externos, e as fachadas Norte e Este têm sombreadores interiores metálicos de lâminas cinzentas.

O caso de estudo aqui particularmente abordado é o conjunto das fachadas da Torre do INEGI.

#### 4.3.3. ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS - FACHADA VENTILADA

Entre os progressos granjeados pelas fachadas nos últimos anos pode-se destacar o isolamento pelo exterior dos edifícios, a criação de uma camada protectora da parede e a procura de paredes cada vez menos espessas, mais leves, compostas por uma série de camadas com funções cada vez mais específicas.

Dentro desta tendência por uma procura incessante de fachadas termicamente mais sustentáveis inclui-se a fachada ventilada que está presente no caso de estudo em questão. A simplicidade inerente a esta fachada pode assemelhar-se a algo muito simples existente na própria natureza. Tal como numa árvore as suas folhas têm como função proteger das intempéries os frutos que dela brotam, deixando-os respirar normalmente, também a fachada ventilada deixa respirar o edifício protegendo-o da incidência directa dos raios solares. [24]

Este tipo de fachada resolve problemas de isolamento térmico e acústico, falta de estanquidade à água ou fissuração, contribuindo assim para a economia de energia e diminuição do risco de degradação

precoce dos materiais. Evita ainda pontes térmicas e condensações, dotando o edifício de uma maior qualidade e conforto.

A fachada ventilada associa-se ao ressurgimento de paredes exteriores simples, que tinha caído em desuso a partir de meados do séc. XX.

#### 4.3.3.1. Constituição, montagem e funcionamento

As fachadas ventiladas da Torre do INEGI são compostas do exterior para o interior, pelos seguintes elementos apresentados na figura 27 e descritos em baixo:

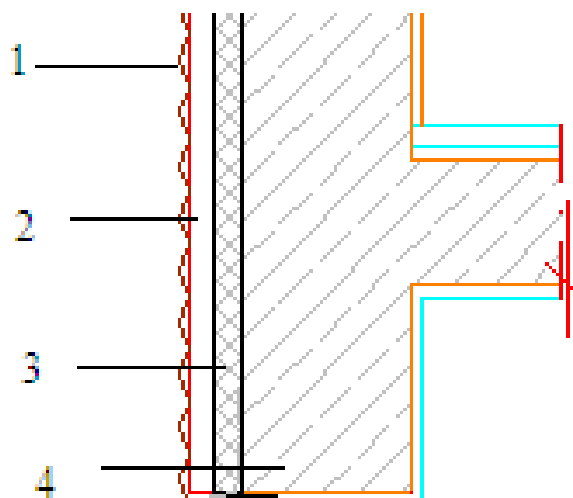


Figura 27 – Pormenorização das fachadas da torre

(Fonte: Cortes construtivos das fachadas fornecidas pelo Arquitecto Luís Ramalho – Anexo 1)

1. Revestimento descontínuo, fixado ao elemento de suporte; neste caso trata-se de chapa de aço ondulada pré lacada “HAIRONVILLE” – Frequence 13.18 HA”
2. Caixa-de-ar ventilada
3. Camada de isolamento térmico contínuo em poliestireno extrudido com 4 cm sobre o paramento exterior do elemento de suporte
4. Elemento de suporte

Estes elementos são montados da forma seguinte:

O revestimento descontínuo é não-isolante e independente, é fixado mecanicamente ao elemento de suporte através de uma estrutura de fixação, e para além da sua função estética, funciona como capa de impermeabilizante da parede.

A estrutura de fixação deve permitir o afastamento do revestimento em relação ao elemento de suporte, de modo a estabelecer uma caixa-de-ar entre os dois elementos. A estrutura deve permitir deformações para a absorção de tensões por dilatação e choques térmicos, incidência de ventos, etc. Esta estrutura apresenta uma série de componentes, que transferem as acções a que o revestimento está sujeito para o paramento que a sustenta.



A estrutura é composta por:

- Perfis verticais – geralmente em alumínio ou aço inoxidável, ancorados no elemento de suporte.
- Perfis horizontais – geralmente em alumínio ou aço inoxidável, elementos de fixação do revestimento.
- Complementos – dispositivos de fixação, de remate, etc.

A caixa-de-ar formada entre o revestimento e o paramento externo do elemento de suporte apresenta dimensões de 3 cm e tem o objectivo de permitir a ventilação contínua no sentido vertical através do efeito chaminé. Na caixa-de-ar e sobre o paramento exterior do elemento de suporte é fixado o isolamento térmico.



Fotografia 21 – Fachada ventilada do INEGI (Fonte: Foto da autora)

A execução de uma camada de revestimento não-isolante descontínuo sobre a parede protege o elemento de suporte (parede) e o isolamento térmico das intempéries, o que aumenta a durabilidade do conjunto. O efeito chaminé, que se forma no interior da caixa-de-ar, permite a eliminação de condensações ou de alguma humidade da chuva que tenha atravessado o revestimento.

Os aspectos elementares da fachada que anteriormente se referiram apresentam-se visualizados na figura 28 num corte relativo ao alçado patente no mesmo esquema.

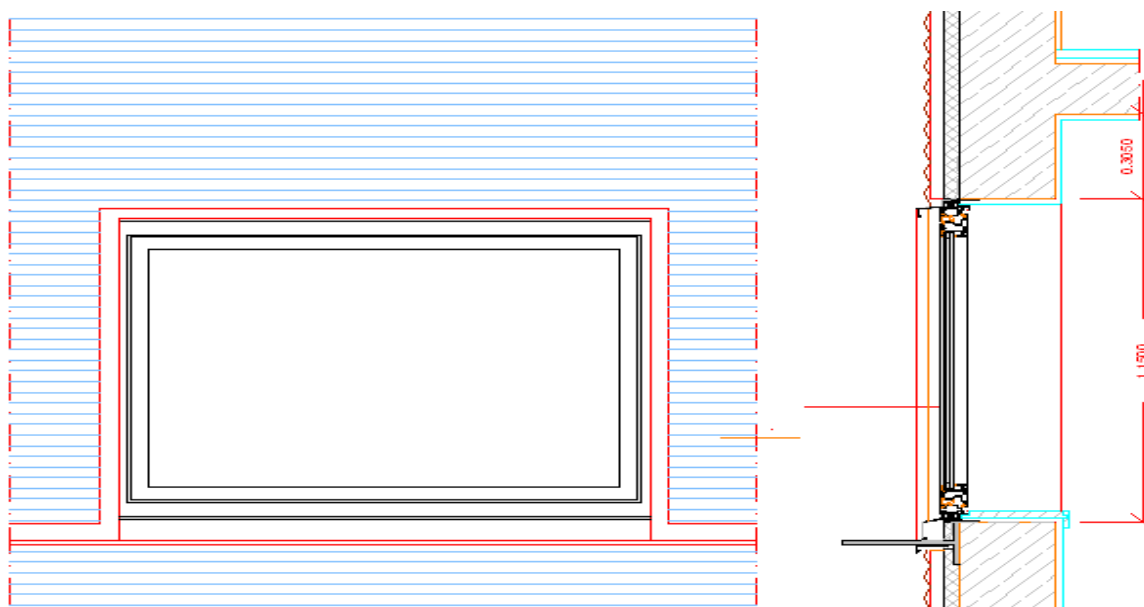


Figura 28 – Aspectos elementares de funcionamento da fachada ventilada do INEGI – Alçado e corte  
(Fonte: Pormenores dos cortes das fachadas fornecidas pelo Arquitecto Luís Ramalho – Anexo 1)

#### 4.3.3.2. Vantagens da fachada ventilada

Da forma sumariamente descrita, o isolamento térmico e o pano interior encontram-se perfeitamente protegidos contra a humidade. Podem assim ser utilizados certos materiais naturais de isolamento térmico, que por serem mais sensíveis à humidade, não são utilizados correntemente no isolamento das fachadas convencionais. O facto do isolamento térmico ser contínuo torna-o mais eficiente, pois ao eliminar ou prevenir as pontes térmicas torna esta solução muito eficaz na reabilitação de fachadas com problemas de isolamentos deste tipo. A aplicação do isolamento sobre o paramento exterior faz com que a capacidade térmica da parede esteja totalmente disponível para elevar a inércia térmica interior do edifício. A ventilação impede que o ar existente na câmara aqueça, evitando-se a transmissão de calor por convecção, para o interior. Deste modo, esta solução promove a diminuição dos consumos energéticos tanto durante a estação propícia ao aquecimento como naquela que exige arrefecimento. O comportamento do isolamento acústico é substancialmente melhor do que o de uma fachada convencional, já que o revestimento descontínuo dissipa parte da energia sonora incidente. Esta solução apresenta geralmente elevada estabilidade estrutural, uma vez que o revestimento por ser descontínuo, previne o risco de fissuração causado pelas amplitudes térmicas diurnas e sazonais. Por outro lado também não existe transmissão de cargas entre as placas, já que as fixações são independentes.

A existência de elementos de revestimento totalmente independentes permite a substituição isolada de alguma peça danificada, o que torna a sua manutenção simples e pouco dispendiosa.

Ao nível da resistência ao fogo, há que ter em conta que a caixa-de-ar actua como propagador vertical de fogo. Para evitar esta situação deve a caixa-de-ar ser compartimentada com barreiras horizontais e verticais resistentes ao fogo.

Por fim, as fachadas ventiladas permitem que se utilize o espaço vazio, entre o elemento de suporte e o revestimento para a passagem de instalações hidráulicas e eléctricas. O afastamento adequado entre os paramentos possibilita o alojamento de todas as instalações, as quais se mantêm visitáveis em caso de avarias e/ou manutenção. [45]

#### 4.3.3.3. Inconvenientes da fachada ventilada

Apesar das vantagens anteriormente mencionadas da fachada ventilada existem, contudo, algumas reservas sobre a sua utilização da fachada ventilada, relativamente à fachada convencional – parede dupla com isolamento na caixa-de-ar. A fachada ventilada condiciona a aspecto exterior do edifício e pode, na execução de remates, zonas de cunhais e saliências encontrar eventuais dificuldades. Apresenta também geralmente um custo mais elevado. Por outro lado a questão do nível de resistência ao fogo, anteriormente referido como uma vantagem, pode tornar-se uma “lacuna” visto a caixa-de-ar facilitar a propagação de fogo entre pisos caso não seja seccionada.

#### 4.3.4. ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS – REVESTIMENTO EXTERIOR EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO

##### 4.3.4.1. Considerações gerais

O aço galvanizado associado à já mencionada fachada ventilada reúne uma série de vantagens que conduzem a uma maior sustentabilidade. O conjunto contribui para a ausência de pontes térmicas, redução drástica das amplitudes térmicas, prevenção de eventuais infiltrações e dissipação de condensações internas.

A energia térmica exterior é também reduzida porque é reflectida e absorvida pela placa de aço galvanizado e também porque é dissipada pela caixa-de-ar intermédia e absorvida e anulada pelo elemento isolante. [46]

A fachada ventilada que se descreveu na secção anterior, faz uma espécie de diálogo com o revestimento, tendo a escolha deste último recaído sobre uma chapa de aço galvanizado por apresentar um menor custo associado ao da chapa de alumínio que, inicialmente, se pretendia colocar como o arquitecto Luís Ramalho explicou. Porém, apesar de menos dispendiosa esta é também infelizmente, menos durável. [47]

Na fotografia 22 é possível visualizar o revestimento de fachadas utilizado na torre do INEGI.



Fotografia 22 – Fachada Norte e Oeste, respectivamente, revestidas a chapas de aço pré-lacada  
(Foto da autora)

#### 4.3.4.2. Vantagens relativamente a outro tipo de revestimentos

A chapa de aço ondulada pré-lacada “HAIRONVILLE” – Frequence 13.18 HA” como revestimento de fachadas, envolve essencialmente 5 factores chave: economia, leveza, resistência, montagem fácil e estética.

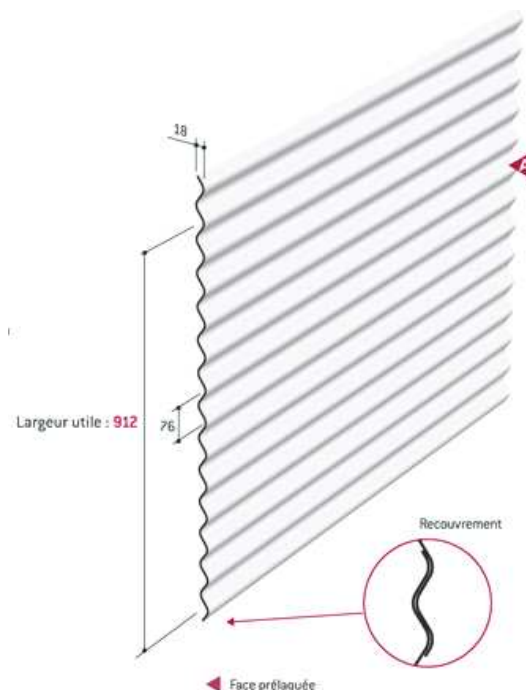


Figura 29- Chapa de aço ondulada pré lacada “HAIRONVILLE” – Frequence 13.18 HA” (Fonte: <http://www.arval-construction.fr>)

Apresenta-se como um revestimento de alta qualidade não só devido ao seu carácter de longa vida útil como também de facilidade de adaptação a qualquer alteração estrutural da nave, permitindo um total aproveitamento em eventuais operações de desmontagem/montagem do revestimento tal como já se tinha preconizado no subcapítulo precedente, a propósito das características do revestimento descontínuo, fixado ao elemento de suporte.

Dotadas de excelentes qualidades de resistência e ligeireza, ao permitir flexibilidade nos projectos e maior economia quer na estrutura de suporte quer na aplicação de acessórios e transporte remete-nos para o tema da sustentabilidade da construção, onde, poupança de energia, de combustíveis e apenas gastos estritamente necessários emergem como uma directriz a ser seguida.

Possuem uma excelente capacidade de resistência à corrosão, tanto em ambientes exteriores como em interiores.

Dado que a chapa em causa é praticamente inquebrável isso repercute-se num menor risco de acidentes na montagem relativamente aos revestimentos tradicionais. A ausência de custos de manutenção, em face da durabilidade deste tipo de coberturas e revestimentos revela se outra grande vantagem.

**RÉFÉRENCE NORMATIVE :**

Règles professionnelles pour la fabrication et la mise en œuvre des bardages métalliques : Janvier 1981 - 2ème édition

CARACTERISTIQUE DU MATÉRIAU DE BASE		NORMES
Nuance d'acier	S 320 GD	NF EN 10326
Type de protection	Galvanisé	NF EN 10326 P 34310
	Galvanisé-Prélaqué	NF EN 10169-1 XP P 34301

Epaisseur (mm)	<b>0,75</b>
----------------	-------------

Masse (kg/m <sup>2</sup> )	7,65
----------------------------	------

Pour épaisseur supérieure, nous consulter.

Longueur maximale (m)	7,50
-----------------------	------

Figura 30 – Chapa de aço - referência normativa (Fonte: <http://www.arval-construction.fr>)

**FIXATIONS :**

Fixation une onde sur deux en extrémité, et trois fixations par mètre en appuis intermédiaires. Il est conseillé d'utiliser des vis de diamètre 5,5 mm ayant un diamètre de tête de 12 mm.

**TABLEAU D'UTILISATION**

Charges normales admissibles en daN/m<sup>2</sup> en fonction des portées d'utilisation

Fréquence 13.18 HA  PV VERITAS CN53 B 960166V	2 APPUIS		PORTÉE (m)	3 APPUIS	
	ÉPAISSEUR (mm)			ÉPAISSEUR (mm)	
	0,75			0,75	
Pression	160		1,10	160	
Dépression	160			160	
Pression	160		1,20	160	
Dépression	160			160	
Pression	160		1,30	160	
Dépression	160			160	
Pression	158		1,40	160	
Dépression	147			160	
Pression	130		1,50	160	
Dépression	121			160	

Figura 31 – Chapa de aço – tabela de utilização para cargas normais admissíveis (Fonte: <http://www.arval-construction.fr>)

A resistência mecânica do aço associada à resistência do zinco faz das chapas de aço galvanizado que constituem o revestimento de fachadas do presente caso de estudo um meio versátil e económico para a aplicação em causa.

É esta combinação única de alta resistência, peso reduzido, resistência à corrosão, aparência, possibilidade de reciclagem e baixo custo que conjuntamente reúnem um conjunto de factores que apenas pouquíssimos outros materiais conseguem igualar.

As questões económicas, ecológicas e a resistência a intempéries, levaram à evolução para um sistema mais resistente, mais versátil, mais industrializado e ao mesmo tempo mais ecológico, com o mesmo elevado nível térmico e acústico das construções em madeira, mas sem o problema de manutenção que estas exigem.

O Aço Galvanizado é mais versátil no transporte e manuseamento, na aplicação rápida e sobretudo na liberdade arquitectónica. O aço não apodrece, não abre gretas, não deforma, não é inflamável e é 100% reciclável.

O aço galvanizado pode também ter um impacte ambiental menor. O zinco é um elemento encontrado frequentemente na natureza, em rochas, no solo, e na água; é também um elemento essencial para todas as formas de vida. O zinco é utilizado como elemento essencial na natureza em vários processos biológicos. Os organismos retiram o zinco de que necessitam do ambiente que os cerca, sendo o desenvolvimento desses organismos optimizado quando a demanda por zinco e outros elementos essenciais está presente.

Outra vantagem do aço é a redução do desperdício. Os estaleiros de obras passam a ser linhas de montagem, na medida em que todo o material utilizado chega pré-montado ao local, bastando realizar o encaixe, aparafusamento e soldagem. Isso proporciona um ganho de espaço.

Todos os produtos de aço revestidos com zinco podem ser reciclados. Têm, porém, uma vida útil muito longa antes de serem reciclados.

Tanto a tecnologia quanto a possibilidade de reciclagem foram desenvolvidas em resposta à consciência ecológica e à necessidade de suprimentos alternativos da matéria-prima para as indústrias de aço e zinco, a custos compensadores. A partir do momento em que o aço é galvanizado, o zinco torna-se parte do processo da reciclagem do aço.

O pó que contém zinco proveniente do Forno a Arco Eléctrico é tratado e o zinco recuperado na forma de óxido de zinco que, por sua vez, é utilizado para produzir o metal, sendo então reutilizado na galvanização. Essa reciclagem em circuito fechado é parte integrante da cultura dos países industrializados. Novas tecnologias de tratamento continuam sendo desenvolvidas com o objectivo de maximizar a recuperação do zinco a custos compensadores. Actualmente, 80% do zinco disponível para reciclagem é efectivamente reaproveitado.

O aço galvanizado pode ser reciclado a partir de três fontes:

- Sucata resultante do processo de produção de chapas galvanizadas
- Sucata gerada durante a manufactura e instalação de um produto
- Produtos que chegaram ao final de sua vida útil, cuja disponibilidade para reciclagem é proporcional à vida útil dos mesmos. A título exemplificativo refira-se que o período de vida médio do aço galvanizado em veículos automóveis é de 12-15 anos enquanto que esse período se alonga para 25-100 anos quando a aplicação é a construção civil.



## 4.4. EDIFÍCIO BURGO

### 4.4.1. PREÂMBULO

Considerado por muitos uma obra-prima de referência da arquitectura, idealizada pelo arquitecto Eduardo Souto Moura, o edifício Burgo, situado na Avenida da Boavista 1837 tornou-se já um ícone que deverá vir a transformar-se, a par com a Casa da Música numa das maiores referências em termos de edifícios modernos na cidade do Porto. [48]



Fotografia 23 – Vista geral do edifício Burgo a partir da Avenida da Boavista (Fonte: Foto da autora)

### 4.4.2. APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Trata-se de um complexo composto por três espaços distintos, nomeadamente o estacionamento, o Centro Burgo e a Torre.

O estacionamento é composto por 2 pisos subterrâneos para uso público e privado totalizando 261 lugares para uso do futuro centro de negócios em que se tornará o empreendimento proximamente.

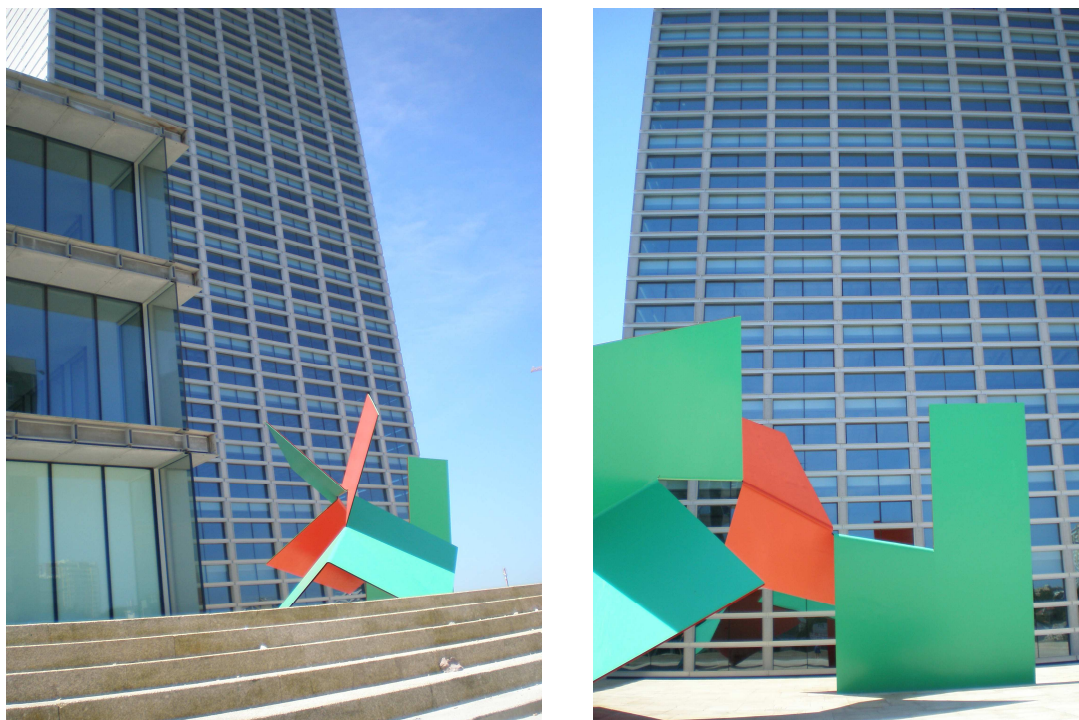
O centro Burgo, edifício Horizontal, tem uma planta rectangular (54 x 23,4m) e é constituído por três pisos mais um recuado, sendo o piso térreo destinado a comércio e os restantes a escritórios com fracções que podem atingir os 121m<sup>2</sup>.

O destaque da obra vai para a torre Burgo, de secção quadrada com 27 m de lado, que conta com 18 pisos elevados acima da plataforma. À primeira vista é aparentemente simples devido à sua forma geométrica, com traços rectos onde se encontram influências de Mies Van der Rohe.

Este aspecto da simplicidade parece propositadamente ilusório por duas razões:

- A complexidade do desenho e da técnica de uma construção sem colunas estruturais, apenas em open space.

- O dualismo das fachadas, envidraçadas a Norte e Sul e opacas, em pedra granítica, a Nascente e Poente (Anexo 2) o que confere ao edifício um carácter simultaneamente de ligação ao exterior para aproveitamento da radiação solar e da iluminação natural e recolhido nos locais onde as necessidades o exigem e a pedra se revele o revestimento mais sustentável.



Fotografia 24 – Fachada Norte do edifício Burgo (Fonte: Fotos da autora)

As lajes da plataforma são maciças com capitéis salientes e nos pisos elevados são fungiformes com moldes recuperáveis, com 0.325m de espessura no caso da torre e 0.425m no corpo baixo. A dimensão e modulação dos pilares da torre são condicionadas pela fachada definida no projecto de arquitectura, sendo a geometria constante, rectangular com 0.30x0.50m<sup>2</sup>, em secção mista quando necessário. As lajes apoiam-se no núcleo central e nos pilares periféricos. A compatibilização da fachada com a estrutura limita a ligação das lajes dos pisos aos pilares a metade da secção.

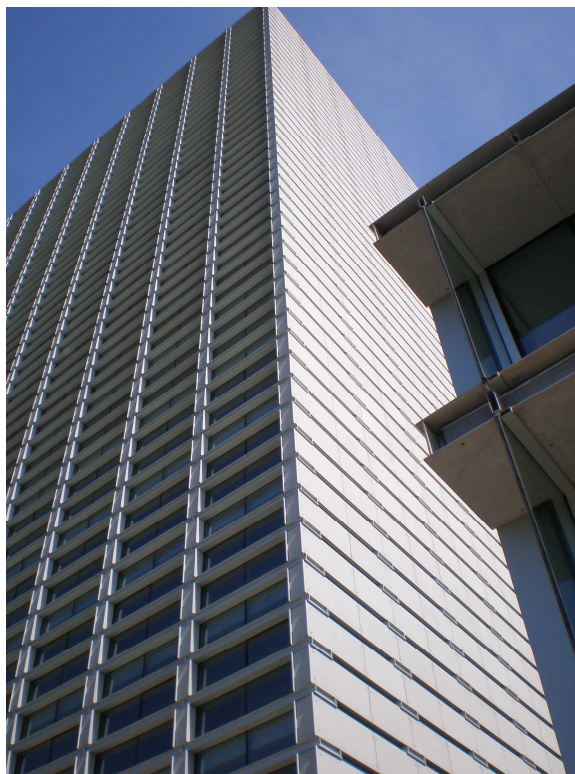
A escolha deste caso como exemplo de estudo justifica-se pelo seu carácter único em toda a cidade do Porto. Recuado em relação à Avenida da Boavista, o edifício está virado para uma praça central, dispondo de um enquadramento invejável. A sua concepção permite oferecer pisos em “open space”, sem colunas estruturais, de modo a otimizar o espaço disponível. [49]

A compatibilidade entre as estratégias arquitectónicas puras com a tipologia do revestimento das fachadas tornou-o atraente para análise no âmbito deste trabalho.

#### 4.4.3. CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS FACHADAS – ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS.

Como havia já sido referido em 4.4.2, a torre do edifício Burgo, presente caso de estudo neste trabalho, apresenta uma dualidade nas fachadas sendo estas envidraçadas a Norte e Sul e opacas nas outras duas orientações.





Fotografia 25 – Dicotomia entre a fachada Sul totalmente envidraçada e a fachada Este revestida a pedra (Fonte: Foto da autora)

#### 4.4.3.1. Pedra

A Nascente e a Poente as fachadas são revestidas a pedra de granito aparelhada de Alpalhão, uma zona perto de Castelo de Vide no Norte Alentejo. Neste local o sector da pedra granítica é vital para a economia do concelho, num esforço conjunto de preservar e divulgar o importante património tão próprio e abundante da região.



Fotografia 26 – Edifício Burgo – Fachada revestida a pedra granítica de Alpalhão (Fonte: Fotos da autora)

Sendo um dos preceitos básicos da construção sustentável o aproveitamento das matérias-primas disponíveis “próximo” da obra, é de realçar a escolha deste revestimento por um produto nacional, com vasta oferta na zona onde foi extraído o que permite não causar impacto negativo assinalável na sua extracção.

O revestimento das duas fachadas de pedra, usado no edifício Burgo, contribui, deste modo para a sustentabilidade ambiental, em harmonia com o ambiente, pois compactua com a máxima que o Natural Stone Council - NSC, preconiza para a utilização desta matéria prima com vista à sustentabilidade. Segundo este comité, a pedra usada num projecto deve ser local ou regional, significando que a extracção e fabrico dos materiais devem ser provenientes de uma jazida dentro de um raio de 500 milhas (aproximadamente 800 Km) [50], o que se coaduna com a distância entre o Porto e esta localidade do Alto Alentejo.

A pedra no edifício Burgo é assim, um material altamente sustentável, sobretudo por ter sido extraída e manufacturada localmente, e por produtores e fabricantes que reciclam os resíduos no seu processamento sem acarretar elevados custos.

Deste modo, não faltam à pedra de Alpalhão argumentos para que a escolha deste revestimento ter sobre si recaído. Esta rocha ígnea, de granito de granulado fino é uma riqueza natural, pronta para ser transformada, de alto nível de qualidade e remete-nos para um passado onde a pedra era o principal material de construção, apesar de manter ainda hoje uma utilização expressiva.

A resistência da pedra de Alpalhão é também uma característica a evidenciar. O excelente entrave às agressões, a resistência a compressão (152 Mpa) [51], a forte reacção ao choque e inclusivamente às temperaturas elevadas, afigura-se extremamente vantajosa visto que no Verão as fachada Este e Oeste se revelam as mais problemáticas, com maiores valores de radiação global incidente, tal como se expôs no capítulo 2 do presente trabalho, contribuindo assim para um maior conforto térmico do usuário que trabalhe nessas orientações sem ter necessidade de recorrer muitas vezes a dispositivos mecânicos de ar condicionado que iriam agravar os consumos energéticos.

A pedra é um produto natural com um longo ciclo de vida, possível de ser reciclável e reutilizado, com uma manutenção mínima necessária para se conservar bela e sem fazer exigências contínuas de energia.



Fotografia 27 – Fachada Oeste revestida a granito de Alpalhão – (Fonte: Foto da autora)

A pedra granítica por outro lado apresenta-se também como um material dotado de elevada inércia térmica. A título meramente exemplificativo, todos somos conhecedores da sensação de frescura que sentimos quando no Verão entramos num edifício constituído por granito. Por outro lado, no Inverno, a sensação de conforto traduzida pela temperatura do interior ser superior à do exterior leva-nos a enaltecer esta qualidade da pedra que funciona como um estabilizador de temperaturas internas.

Demonstra-se assim que a elevada inércia térmica das rochas é um factor positivo na manutenção desse mesmo conforto e na poupança de energia nos edifícios.

Ainda assim para otimizar o desempenho energético-ambiental do revestimento usado no edifício Burgo, nas fachadas Nascente e Poente, é importante que sejam adoptadas e integradas outras estratégias de optimização do desempenho.

A inclusão do isolamento térmico, como se verifica através do corte construtivo da figura 32 aplicado de forma contínua, alcança um contributo positivo do armazenamento das temperaturas médias do clima que favorecem o conforto no interior.

Em toda a faixa de clima mediterrânico, a inércia térmica é uma medida essencial para a optimização do desempenho energético-ambiental de edifícios habitacionais, porque constitui uma fonte de energia térmica estabilizante durante toda a duração dos edifícios.

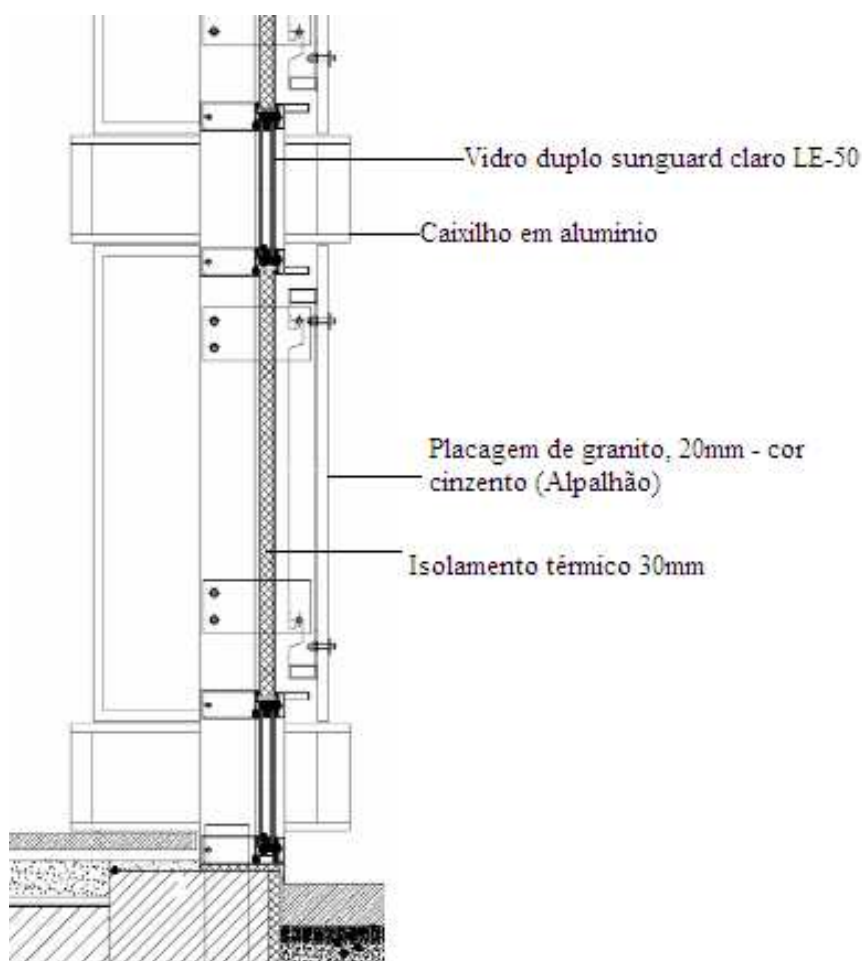


Figura 32 – Pedra – Corte vertical pelos vãos fachadas nascente e poente (sem escala) – (Fonte: Desenhos cedidos pelo coordenador do projecto Arquitecto Diogo Guimarães - Anexo 2)

#### 4.4.3.2. Vidro

Em contrapartida, nas fachadas Norte e Sul a envolvente é indubitavelmente diferente tendo a escolha recaído sobre um vidro de controlo solar, o SGG ANTELIO que tem como principal função proporcionar conforto térmico.

Este revestimento seleccionado, limita a entrada de energia e melhora o conforto, proporcionando uma boa iluminação natural no interior e reflectindo os raios solares (limita-os ao máximo) reduzindo a entrada de calor, proporcionando ambientes mais confortáveis e economia de energia em aparelhos de ar condicionado [52].

Além disso o uso de grandes áreas envidraçadas nos projectos, para além de garantir maior luminosidade natural para os ambientes, o que reduz o uso de energia para iluminação, a tipologia dos vidros aqui escolhidos são também igualmente dotados de grande resistência e estabilidade temporal.

Estes vidros de controlo solar, dado que possuem uma transmissão luminosa limitada apenas deixando passar uma determinada fracção da radiação solar, mas limitando o aquecimento, têm em vista três objectivos:

- Diminuição dos ganhos solares (factor solar  $g$  o mais baixo possível)
- Diminuição da transferência de calor do exterior para o interior; (coeficiente  $U$  mínimo)
- Garantia uma adequada transmissão luminosa

Neste momento em que a crise de energia se agrava, a procura por soluções concretas tem-se tornado uma constante na vida dos arquitectos, engenheiros, projectistas e dos usuários dos edifícios. O projecto arquitectónico do edifício Burgo teve em consideração este facto, e como tal, tem nele incluído vidros que não contribuem para o excessivo consumo energético.

O vidro de controlo solar é um vidro de capa. É obtido por pulverização a quente de uma capa de óxidos metálicos sobre um vidro. O processo de fabricação industrial por pirólise (deposição a alta temperatura de uma capa de óxidos metálicos) permite à capa uma elevada resistência ao longo do tempo. Esta característica garante-lhe a longevidade das suas performances térmicas e da sua cor. A camada reflecte os raios solares, reduzindo o calor dentro do ambiente e proporcionando economia nos sistemas de ar condicionado. É um vidro que pode ser temperado e curvado dando a opção de um projecto arrojado com um design moderno e futurístico. [53]

A utilização de vidros duplos reflectivos como é o caso do presente edifício, é uma das forma efectiva de poder diminuir até 10% os gastos operacionais com equipamentos de ar condicionado, pois as suas características termo-acústicas permitem uma menor troca de temperatura entre o interior e exterior dos ambientes.

Com todas estas características em mente a escolha recaiu então sobre os vidros reflectivos Antélio, laminados com 30 mm de espessura pois contêm uma boa caixa-de-ar; o pormenor da sua inserção na fachada está ilustrado na figura 33.

Vários estudos demonstraram que o vidro duplo Antélio permite uma redução de até 6% nos custos de instalação do equipamento de ar condicionado e de 8 a 10% nos custos operacionais, com prazo de retorno do investimento médio de 2 anos. A diminuição nos custos energéticos remete-nos mais uma vez para uma maior sustentabilidade ambiental que se vem tentando descrever ao longo desta dissertação.

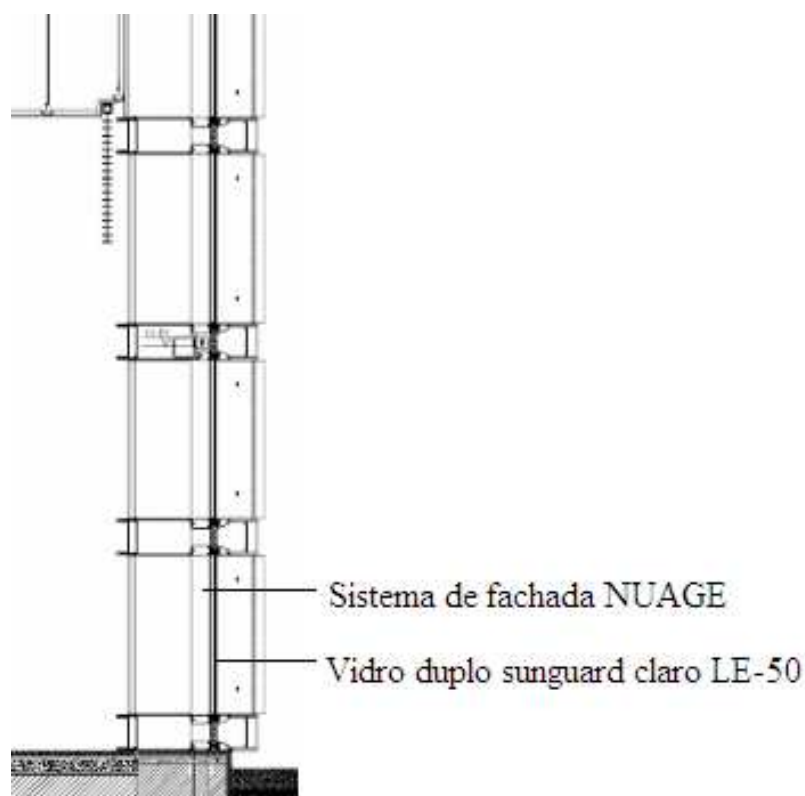


Figura 33- Vidro - Corte vertical pelas fachadas Norte e Sul – (Fonte: Desenhos cedidos pelo coordenador do projecto Arquitecto Diogo Guimarães – Anexo 2)

Apesar de, na fachada sul, estes vidros serem extremamente vantajosos na medida em que proporcionam uma maior luminosidade para as áreas de trabalho e também um controlo solar no verão quando o excesso de temperatura não se revela favorável, parece ainda um pouco dúbia, para a autora deste trabalho, a questão da inserção destes tipo de vidros na fachada Norte.

Pela análise da planta fornecida pelo arquitecto Diogo Guimarães (Anexo 2) verifica-se a existência de amplos escritórios adjacente a ambas as fachadas envidraçadas. Na realidade este facto vem contra os preceitos enfatizados no capítulo 2 deste trabalho em que se recomenda que a orientação Norte deverá ser aproveitada para instalações sanitárias, circulações e arrecadações, ou seja áreas mais técnicas que não necessitassem tanto de calor (Edifícios de habitação).

Porém para edifícios de escritórios a situação é diferente, na medida em que qualidade da luz solar, neste caso, é muito constante. É por isso que os artistas muitas vezes procuram ateliers com este tipo de orientação. É uma exposição adequada para salas de leitura, ateliers ou salas equipadas com computadores, como é o caso em estudo, pois reúne simultaneamente o facto de nunca se tornar um espaço muito aquecido ao facto da radiação solar ser indirecta e não causar encandeamento quando se recorre ao uso destas ferramenta de trabalho.

Provavelmente a situação terá resultado de um compromisso entre a necessidade de dispor de locais de trabalho e o ideal bioclimático. Mitigado pela boa capacidade isoladora deste vidro que fará com que não haja arrefecimento excessivo durante o Inverno. No Verão o problema não se porá, dado que a fachada Norte recebe pouca energia solar conforme se demonstra de forma expedita e visual na figura 6.

## 4.5. EDIFÍCIOS NO RIO DE JANEIRO

### 4.5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

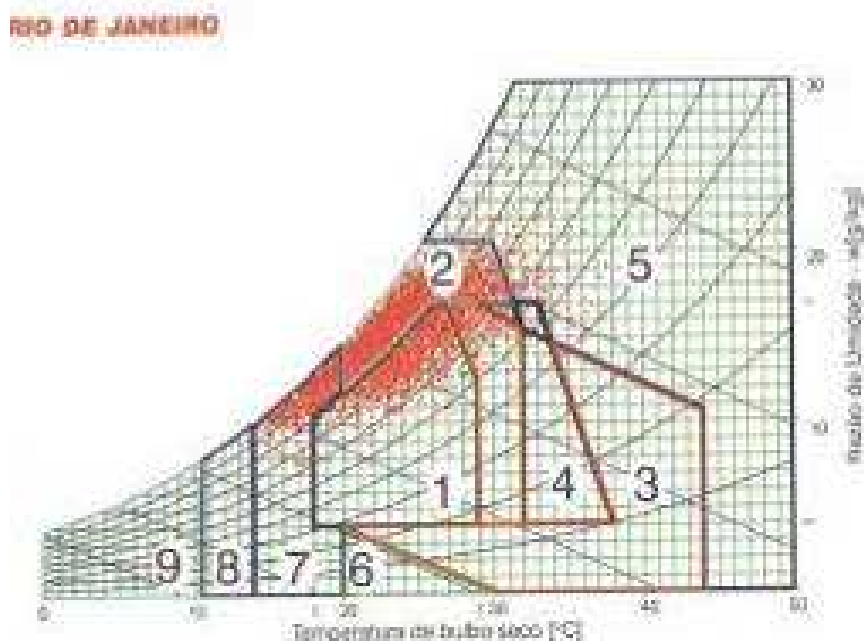
Os três edifícios objecto da análise e situados no Rio de Janeiro foram desenvolvidos e estudados durante o período de intercâmbio de Setembro a Janeiro na Universidade Federal daquela cidade. Inseridos num clima tropical húmido servem de complemento àqueles previamente estudados nos pontos anteriores desta tese de Mestrado para evidenciar uma perspectiva do Hemisfério Sul, tal como se referiu na parte teórica.

Assim sendo, nesta secção foram aplicados todos os conceitos aprendidos previamente e aplicados a edifícios bastante reconhecidos na cidade do Rio de Janeiro.

Numa primeira análise mais geral analisou-se a carta bioclimática da região e possíveis estratégias para melhorar o invólucro externo dos edifícios com vista a alcançar um maior conforto térmico das edificações.

Estas informações podem ser visualizadas de forma prática no Quadro 15 e 16 com as percentagens das horas do ano em que ocorre o conforto ou desconforto térmico e onde irá ser necessário aplicar as estratégias bioclimáticas

São observáveis na figura 34 pontos vermelhos que representam cada hora do ano, sendo possível através de uma análise visual saber quais as necessidades térmicas pela concentração de uma mancha da mesma cor numa dada região da carta.



**Figura 34 - Carta Bioclimática do Rio de Janeiro**  
(Fonte: Aulas de Arquitectura UFRJ – 2007)



Quadro 15 – Zonas de Maior concentração da mancha vermelha

Zonas de maior concentração da mancha vermelha	
1	Conforto térmico
2	Ventilação
5	Ar condicionado
7	Massa térmica para Aquecimento

Quadro 16 – Estratégias bioclimáticas - Análise da carta Bioclimática para o Rio de Janeiro (Fonte: Aulas de Arquitectura UFRJ- 2007)

CONFORTO					20,3
DESCONFORTO	Calor	V	57	64,4	79,6
		RE	0		
		MR	0,1		
		AC	3		
		U	0		
		V, MR	0,4		
	Frio	V, MR, RE	3,6	15,1	
		MR, RE	0,1		
		MA, AS	14,8		
		AS	0		
	AA	0,2			

Legenda:

V	Ventilação	AS	Aquecimento solar
RE	Resfriamento evaporativo	MA	massa térmica para aquecimento
MR	massa térmica para resfriamento	AA	Aquecimento artificial
AC	Ar condicionado	U	Humidificação

Por análise da carta da figura 34 concluiu-se que em 20,3% das horas do ano haverá conforto térmico, enquanto que no restante 79,6% haverá desconforto. O projecto arquitectónico deve considerar duas principais estratégias, em ordem de importância: A ventilação (57%) e a massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (14,8%). Porém as duas estratégias são soluções antagónicas. Durante a elaboração do projecto, haveria que levar em conta que as soluções que permitem o uso de ventilação no Verão não podem prejudicar o armazenamento de calor por massa térmica no Inverno, e vice-versa.

O problema consiste em compatibilizar estas duas indicações contrárias de forma simultânea e com êxito. Isto pode ser obtido através da utilização de sistemas de aberturas de tal forma que possam cumprir as duas finalidades: ventilar a edificação no verão e serem passíveis de isolamento térmico no Inverno, evitando perdas de calor. Uma arquitectura concebida para ter muita ventilação natural possibilitará conforto térmico em 61% das horas do ano ( $57\% + 0,4\% + 3,6\%$ ), que representam a quase totalidade das horas em que há desconforto por calor. Porém, não se podem esquecer as restantes 14,8 % relativas ao desconforto por frio. Para que esta estratégia não seja anulada pelas

soluções de projecto que favorecem a ventilação, é necessário o uso de isolamento térmico operável nas aberturas e na cobertura, ou adoptar brises móveis e vegetação que permitam a insolação das janelas nos períodos frios.

#### 4.5.2. CONJUNTO JOÃO ERNESTO

##### 4.5.2.1. Descrição da fachada

O conjunto João Ernesto, localizado na rua Teixeira de Melo, na Praça General Osório (Figura 28) situa-se a escassos metros da orla da praia de Ipanema onde estão localizados os prédios nobres, de clara influência europeia e norte americana, caracterizadas por fachadas envidraçadas. O edifício projectado, pelo arquitecto Óscar Niemeyer, teve a sua construção iniciada no ano de 1958 e foi recentemente remodelado durante os anos 2003 e 2004. Esta reforma interferiu também no revestimento de fachadas que até então era todo constituído por pastilhas de forma hexagonal. Como actualmente a função estética das fachadas de edifícios tem mostrado grande evolução com aplicações de grande variedade de materiais no seu acabamento, durante a remodelação optou-se por substituir as pastilhas por placas 10x10 esverdeadas de revestimento cerâmico.

O conjunto João Ernesto tem apenas duas fachadas que confrontam directamente com a rua enquanto que as outras duas são geminadas com prédios vizinhos. A fachada Leste que dá para a Praça General Osório possui grandes aberturas, totalmente envidraçadas, o que permite entrar muita radiação solar ao longo de toda a manhã até cerca do meio-dia deixando os cômodos bastante aquecidos tornando-os penosos para os usuários na estação mais quente do ano. Para minimizar este problema os cômodos têm todos ar condicionado e ventilação artificial; porém isto aumenta os custos energéticos não representando propriamente uma solução nem sustentável nem económica. A fachada Norte que dá para a Rua Visconde de Pirajá é quase inteiramente ocupada por salas destinadas ao comércio (cerca de 95%). Em entrevista feita ao porteiro do prédio os utentes que usufruem deste espaço estão de um modo geral satisfeitas, não só devido aos corredores largos existentes, que permitem uma ventilação natural, como também devido a estarem virados para uma orientação que permite um considerável ganho de energia solar no Inverno.



Fotografia 28 – Fachada Leste (com incidência do Sol de manhã) (Fonte: Foto da autora)



#### 4.5.2.2. Estratégias de Melhoramento do Prédio

Para tornar o edifício em estudo mais sustentável deveríamos então recorrer a materiais de construção que influenciem o habitat de modo a melhorar as condições de conforto interno, planeando o revestimento de fachadas adequadas ao clima, projectando a ventilação, o ar condicionado e combinando a luz natural integrada com a artificial para conduzir a um menor consumo de energia.

Outra vertente em que se poderia intervir seria, em lugar de grandes áreas de janela totalmente envidraçadas na fachada leste, como tem o conjunto João Ernesto, substituí-las por áreas mais pequenas, protegidas da entrada da radiação solar directa, ao mesmo tempo que continuariam a ser suficientes para um bom nível de conforto visual para o habitante.

A necessidade de luz produziu grandes áreas transparentes em fachadas, gerando excessivo ganho de calor. As tradicionais variáveis de projecto (orientação, selecção de materiais, etc) e os produtos disponíveis (neste caso vidros simples), apresentam desempenhos de características fixas (não têm o dinamismo necessário aos diferentes tipos de desempenho exigidos de uma fachada). Assim, uma das estratégias que se poderia adoptar em lugar destes vidros simples que absorvem muita radiação solar seria recorrer a janelas inteligentes, desenvolvidas a partir de vidros eletrocrómicos, que tal como se referiu em capítulo anterior consistem numa nova e moderna opção para a arquitectura. Elas proporcionam aos usuários a possibilidade de interferência, uma vez que este tipo de vidro apresenta características distintas de transmissão à radiação solar, quando polarizado ou despolarizado. Podia-se assim minimizar o consumo de energia de uma edificação, com a racionalização do uso de sistemas de ar condicionado e de iluminação artificial, considerando que, ao longo do dia, o usuário vai definir quando permitirá ou não a passagem da radiação solar.

Poderia ser programada uma determinada temperatura máxima ou nível de iluminação, que accionasse automaticamente o dispositivo eletrocrómico, permitindo, com isso, a racionalidade e a possibilidade de redução no consumo de energia.

Os vidros eletrocrómicos possuem memória o que significa que com a aplicação de um a cinco volts obtém-se a mudança de coloração; para descolorir o vidro basta inverter a polaridade dos eléctrodos. O tempo de memória implica o período em que o vidro eletrocrómico permanece colorido depois de cessada a aplicação de voltagem. Pode ser muito longo, atingindo de 12 a 24 horas, o que é conveniente para as fachadas, pois o sistema pode permanecer activado durante o período do dia que se tornar necessário.

#### 4.5.3. EDIFÍCIO GUSTAVO CAPANEMA

##### 4.5.3.1. Caracterização do Prédio

O actual Edifício Gustavo Capanema, construído entre 1936 e 1945 (largamente conhecido pelo seu uso original, o Ministério da Educação e Saúde Pública), é um edifício público localizado no centro da cidade do Rio de Janeiro.

É considerado um marco no estabelecimento da arquitectura Moderna Brasileira, tendo sido um dos primeiros exemplos de utilização da protecção solar e interacção com o clima em projectos do período do “Modernismo Brasileiro”, tendo sido projectado por uma equipe composta por Lúcio Costa, Carlos Leão, Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Ernani Vasconcellos e Jorge Machado Moreira, com a consultoria do arquitecto franco-suíço Le Corbusier. O edifício utilizou integralmente os 5 pontos que definem o programa arquitectónico corbusiano, refletindo a tentativa do grupo brasileiro de incorporar esses preceitos racionais: a adopção de formas simples e geométricas, o térreo com

pilastres, os terraços-jardim, a fachada envidraçada, as aberturas horizontais, a integração dos espaços interno e externo, o aproveitamento da ventilação e luz naturais por meio do uso de lâminas móveis e o trabalho com volumes puros, a partir do cruzamento de um corpo horizontal e de um vertical.

#### 4.5.3.2. Forma do Prédio e Layout Interno

O edifício apesar de se situar num espaço aberto está rodeado por uma zona densamente ocupada. A sua construção é marcada pelo contraste entre a verticalidade do bloco principal, constituído por 14 andares, todo ele envidraçado e o bloco horizontal com apenas um pavimento. O piso térreo forma um espaço aberto sobre pilares que suportam o edifício, formando uma zona livre que serve para passagem de peões (fotografia 29) e parte dela está jardinada. A decisão de colocar sobre pilares um edifício sem ar condicionado continua sendo uma solução acertada para um clima tropical húmido. Afasta o prédio da zona mais húmida e aumenta as perdas por convecção pela base. Favorece o deslocamento e o conforto térmico e visual das pessoas através de um espaço agradável, numa zona de edificação muito densa e desconfortável.



Fotografia 29 – Pilares do MEC (Fonte: Fotos da autora)

#### 4.5.3.3. Dados construtivos e detalhes

Salvo a excepção de alguns compartimentos onde se usa ar condicionado, o prédio foi concebido para ser arrefecido por ventilação natural, controlando a radiação solar por meio de brise-soleils móveis. O sistema adoptado foi constituído por placas horizontais basculantes de fibrocimento, fixadas em grandes lâminas verticais de betão, situadas na parte externa do edifício e ligadas à estrutura nos eixos. O projecto tem destaque ainda por ser a primeira realização mundial da curtain wall (fachada envidraçada orientada para a face menos exposta ao sol) e a primeira utilização do brise-soleil em larga escala, inventado três anos antes por Le Corbusier. A escolha dos materiais da construção foi também bastante arrojada: ferro e betão, combinação de gnaiss e painéis de azulejos. Foram usados mármore de lioz, tijolo de vidro inglês misturado com mármore amarelo.

As fachadas Leste e Oeste, com área menor, estão totalmente fechadas (fotografia 32). A parede Norte está coberta por brise-soleils, horizontais, móveis, entre planos verticais fixos, caracterizantes do prédio (fotografias 30 e 31), e a parede Sul é constituída por uma lâmina contínua de vidro simples (fotografia 33).



Fotografia 30 – Pormenor dos brises-soleils móveis horizontais da fachada Norte (Foto da autora)



Fotografia 31 – Fachada Norte (Fonte: Fotos da autora)



Fotografia 32 – Fachada Leste (Fonte: Fotos da autora)





Fotografia 33 – Pano de vidro contínuo da Fachada Sul (Fonte: Fotos da autora)

#### 4.5.3.4. Desempenho do Prédio

Sob condições de pouco vento, estudou-se a variação da temperatura de regiões diferentes de modo a estudar o desempenho térmico e luminoso do edifício MEC.

Nas medições de temperatura de Verão pode-se observar pelo gráfico da figura 35 o aquecimento produzido pelo Sol perto da fachada Sul, como era de se esperar pela análise já realizada a propósito deste assunto, no capítulo 2 desta monografia, e a respeito do Hemisfério Sul. [22]

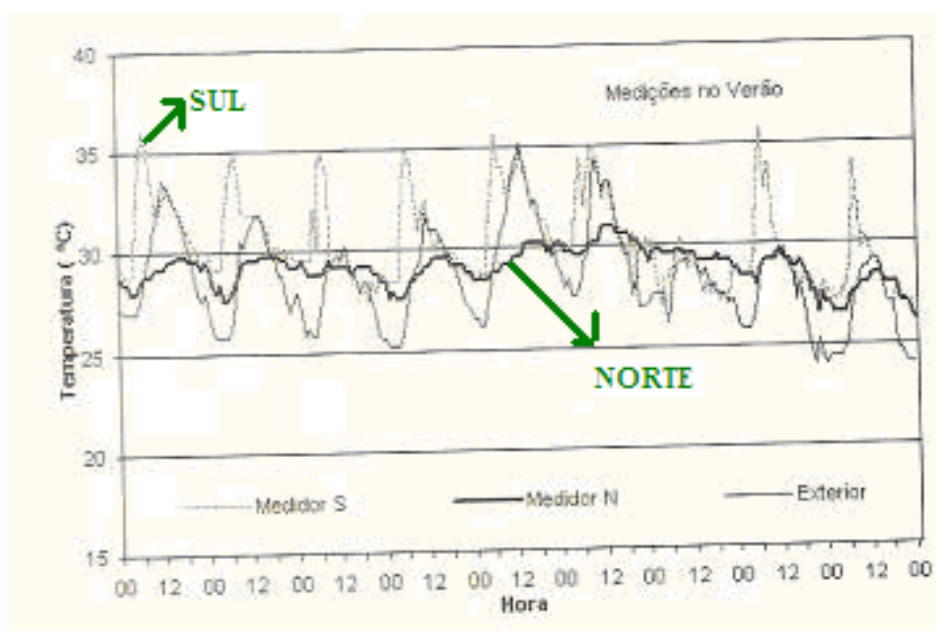


Figura 35 – Gráfico da variação de temperatura no verão (Fonte: Em Busca de uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos, 2003)

Pelo gráfico observou-se também que a temperatura média dos ambientes internos seria próximo de 30° C, sendo possível garantir uma boa ventilação natural existe sensação de conforto; porém, tudo poderia ter sido melhorado de raiz se, previamente, já se tivesse protegido a parede Sul do sol.

Nas mesmas medições para o período de Inverno, nota-se que a evolução do gráfico segue o mesmo padrão, como é patente a figura 36.

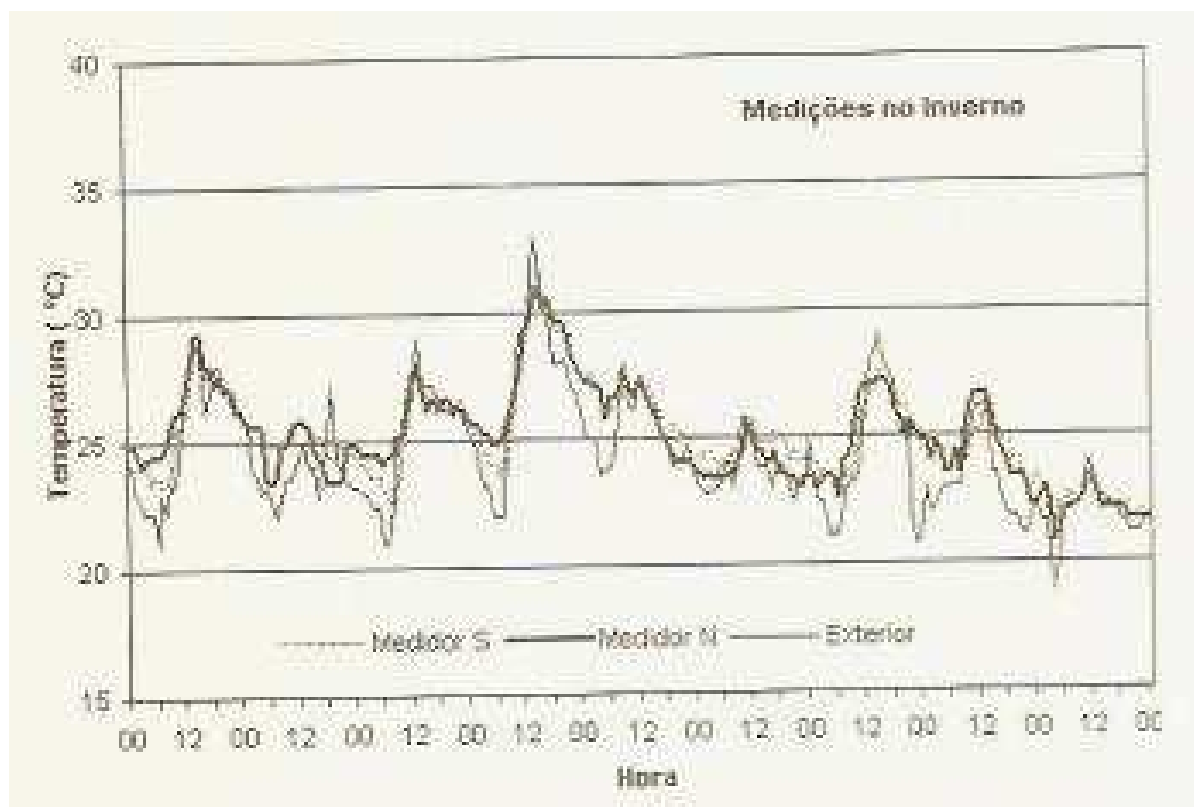


Figura 36 – Gráfico da variação da temperatura no Inverno (Fonte: Em Busca de uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos, 2003)

De acordo com a obra “Em Busca de Uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos” [22] por recurso a simulações já anteriormente efectuadas com o programa CASAMO-CLIM estas mostraram resultados coerentes com estes dois anteriormente apresentados. A este programa são fornecidos os inputs da forma, materiais, superfícies e fontes de calor do edifício e a variação da temperatura e humidade relativa externas no mês de Agosto (Inverno brasileiro).

O resultado mostra que se pode ter conforto térmico se houver ventilação natural e é coerente com o analisado, na medida em que reafirma a necessidade de haver uma protecção da fachada para o verão para proteger o edifício do sol da manhã.

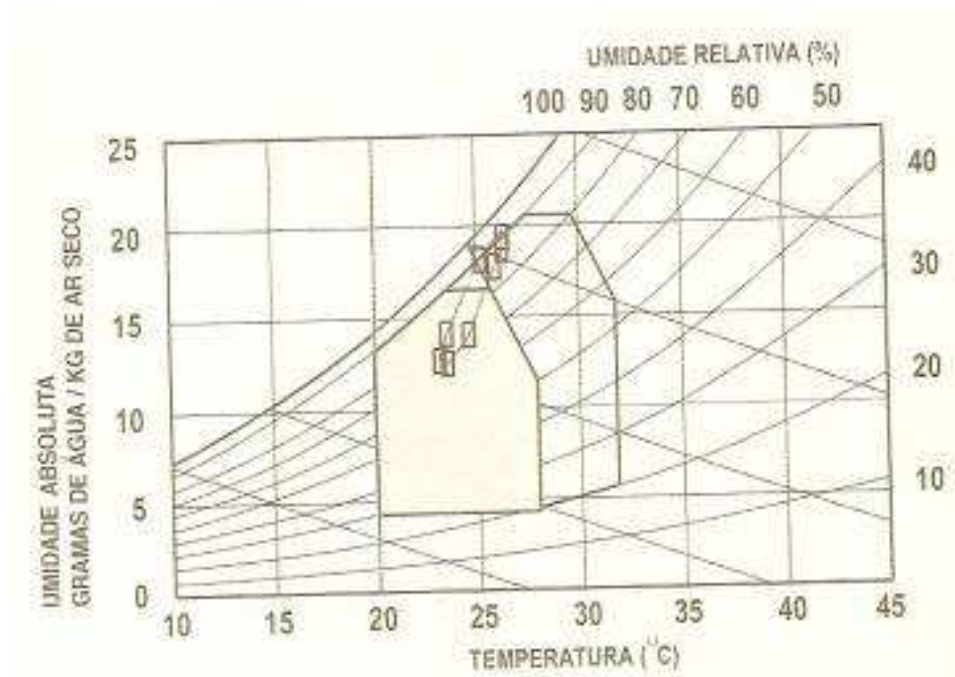


Figura 37 – Resultado das simulações (Fonte: Em Busca de uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos, 2003)

Isto demonstra, também que as simulações feitas sobre um esboço inicial de um projecto permitem tomar decisões que vão ajudar a prever um melhor desempenho térmico do prédio a ser construído.

Realizaram-se também medições pontuais de iluminação, que corroboraram o excelente nível conseguido no interior, nos cômodos sem divisórias. Nos locais onde se introduziram divisórias a toda a altura, o nível da iluminação natural varia muito. Por esta razão é possível ver na fachada sul que as luzes permanecem acesas mesmo por volta da hora do meio-dia (fotografia 34).



Fotografia 34 – Luzes acesas durante o dia na fachada sul (Fonte: Fotos da autora)

#### 4.5.3.5. Discussão, possíveis estratégias e conclusões

Projecto ousado pela criatividade e racionalidade embora as soluções de controlo solar não tenham sido as ideais. Quanto à colocação do edifício sobre pilares continua a ser uma escolha inteligente para um clima tropical húmido como o do Rio de Janeiro. O *brise soleil* da fachada Norte foi também uma boa opção na medida em que deixa o ar circular livremente ao longo de toda a fachada, dificultando assim a transmissão de calor por condução para o interior.

Os maiores problemas dão-se então na fachada sul (inteiramente de vidro), no verão, que não possui protecção solar tendo que suportar radiação solar directa todas as manhãs. As medições efectuadas no Inverno mostram que temperaturas semelhantes são alcançadas nos dois lados do prédio, o que sugere níveis de exposição à radiação solar similares nessa época do ano. Isto ocorre porque o lado Norte está protegido por brise-soleils que não permitem nenhuma entrada da radiação solar directa e o lado sul não está exposto à radiação solar directa nesta época do ano. Portanto ambos os lados recebem apenas a radiação difusa, a qual contribui para a iluminação natural interna, configurando assim este caso de estudo como uma boa ilustração do que é a importância do controle solar efectivo.

Por comparação com outros casos de estudo como foi a sede da empresa Clariant em São Paulo, também ela com forte incidência de radiação solar que causava desconforto aos seus usuários houve a necessidade de procurar no mercado um produto que auxiliasse na diminuição da passagem de calor por meio de áreas envidraçadas. A opção recaiu sobre uma película Llumar de controlo solar bronze que rejeita 76% da energia solar e absorve 99% dos raios UV e é aplicada sobre a superfície interna dos vidros já instalados, sem causar os inconvenientes de uma grande modificação. Os resultados são aliantes. Verifica-se uma redução térmica nas dependências internas após a aplicação da película e além desta melhoria no conforto, a instalação do produto proporcionou benefícios adicionais tais como a diminuição do encandeamento e a revitalização do edifício. Devido à metalização da película a edificação ganha também mais privacidade.

#### 4.5.4. SEDE DA PETROBRÁS

Fotografia 35 - Sede da Petrobrás (Fonte: Foto da autora)



##### 4.5.4.1. Descrição do prédio

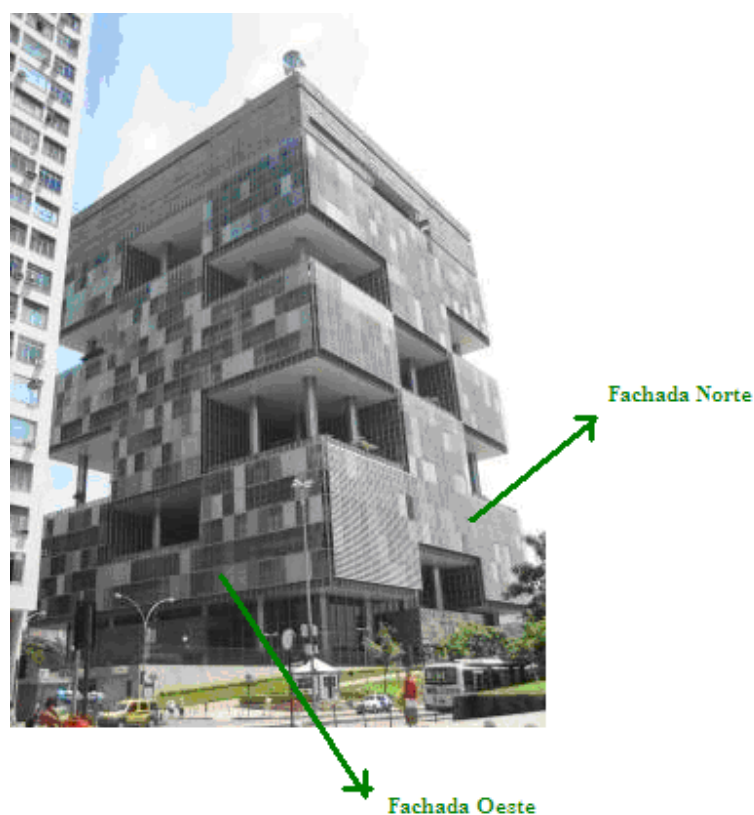
Localizado na Avenida República do Chile, 65 no centro da cidade do Rio de Janeiro, o edifício tem por característica apresentar vazios entre os andares. Os elementos vazados, de forma quadrangular em planta, intercalados entre os pavimentos, foram concebidos para prover os ambientes internos de ventilação e iluminação. Para controlar a radiação solar foram dispostos brises móveis, os quais de acordo com as trajetórias solares possuem eixos horizontais na fachada norte, e verticais, nas fachadas Leste e Oeste. Os prédios desta região têm dimensões monumentais e estão bastante afastados entre si, o que favorece a circulação dos ventos. A fachada sul não foi protegida, mas a área exposta de vidro foi reduzida. As paredes externas dos 21 pavimentos de escritórios são de vidro,



sugerindo leveza e que o edifício apresenta baixa inércia térmica. As fachadas Norte, Leste e Oeste estão correctamente protegidas com brise-soleils externos móveis, de alumínio, horizontais na fachada Norte, e verticais nas Leste e Oeste (Fotografia 35 e 36).



Fotografia 36 – Fachada Oeste, com brises verticais. (Fonte: Foto da autora)



Fotografia 37- O contraste entre a fachada Oeste (brises verticais) e a fachada norte (brises horizontais)- (Fonte: Foto da autora)



## 4.5.4.2. Medições

Realizaram-se medições durante o Inverno e início do verão em períodos em que o ar condicionado estava desligado. Na figura 38 apresentam-se os valores da temperatura externa e interna ao longo de 3 dias no Inverno (Julho), os 2 primeiros correspondendo a um fim de semana e o 3º dia a uma segunda-feira em que o ar condicionado estaria ligado entre as 8h e as 18h. [22]

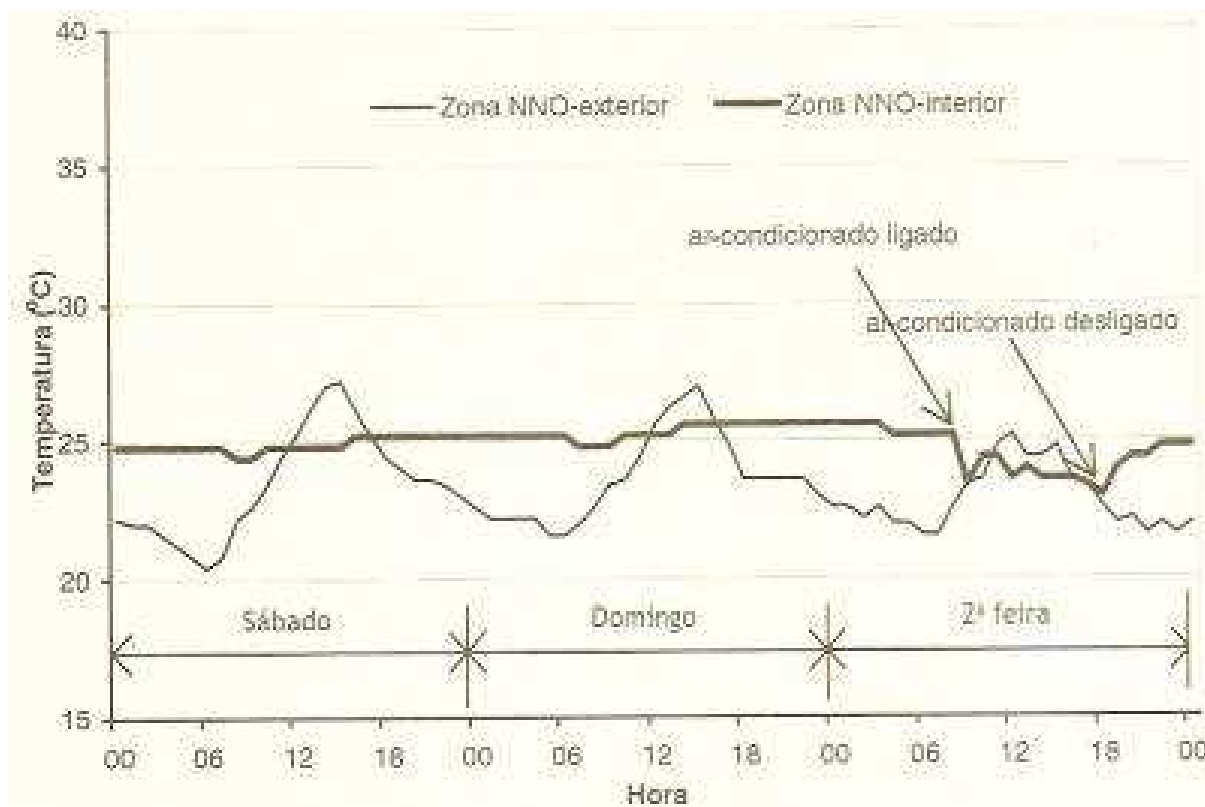


Figura 38 – Registos de temperatura no Inverno (Fonte: Em Busca de uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos, 2003)

É de salientar que a temperatura interna permaneceu quase estável, sem acompanhar a variação da externa, o que evidencia que estamos perante um edifício de grande inércia ao contrário daquilo que inicialmente se pensava. É de notar também que a temperatura do ar interno só varia quando é ligado o ar condicionado, voltando quase ao mesmo nível inicial após este ser desligado.

## 4.5.4.3. Nota Final

Após a construção do edifício verificou-se que os extremos dos pavimentos tinham cedido. A solução adoptada foi então adicionar uma grande quantidade de betão ultraleve, planificando os pavimentos. Assim, apesar da baixa difusividade das perdas externas, existe uma efusividade muito grande em todo o interior do edifício, o que somado à baixa carga de inércia solar (devido à protecção), justifica a pequena amplitude da temperatura interna registada.

Tudo isto reforça a importância que tem a escolha dos materiais e posteriormente o revestimento das fachadas no desempenho térmico de um edifício.

Os dispositivos de controlo solar foram colocados no exterior, dispostos correctamente nas fachadas Norte, Leste e Oeste o que implica que grande parte da energia solar que seria absorvida pelas mesmas seria rejeitada. Se tivessem sido colocados também este tipo de dispositivos na fachada sul teria ajudado a diminuir ainda mais a carga térmica no verão dado que, como já se viu anteriormente, é nesta altura do ano que a radiação solar é mais incidente nesta fachada.

Este é um exemplo que mostra nitidamente como a disposição de materiais escolhidos junto com um bom controlo solar provocam uma quase constância da temperatura interna, ainda que a temperatura externa apresente uma amplitude de variação de quase 7 graus. [22]

# 5

## CONCLUSÕES

Neste capítulo apresenta-se um resumo dos principais assuntos abordados e desenvolvidos ao longo desta dissertação. Embora se tenham efectuado previamente sucessivas alusões a aspectos relacionados com a problemática da sustentabilidade na construção e a revestimentos de fachadas que permitem que a construção seja cada vez mais compatível com os desígnios do desenvolvimento sustentável, procede-se aqui a uma sinopse dos considerandos mais importantes.

Interessa enfatizar que a construção do futuro deve, em paralelo com a evolução do Homem acompanhar o crescimento da consciência ambiental, do desenvolvimento sustentável, integrando ainda procura incessantes pela qualidade, segurança e saúde, tanto na escolha da localização das construções, como nas realizações e ainda nos materiais e processos.

Cada vez mais, estamos perante uma consciencialização de que o custo da construção é apenas um dos parâmetros a ponderar na altura da aquisição, visto que, em geral, se assiste a um aumento da procura dos utentes por edifícios de baixo impacto ambiental, flexíveis e com qualidade arquitectónica e de desempenho (baixos custos de manutenção e conservação, bom isolamento térmico, bom isolamento acústico, entre outros).

Esse crescimento da procura, por parte dos utentes, incluível em muitas zonas do Mundo, de construções com menor impacto ambiental, é, no entanto, entre nós ainda débil. Num país onde as pessoas têm rendimentos médios muito baixos, pelo menos no contexto europeu ou norte-americano não será de esperar, infelizmente, que o ritmo de procura desse tipo de edifícios seja muito acelerado. Certamente que existirá crescimento em nichos de mercado muito próprios, quer de empresas do tipo quase cosmopolita e com forte encosto ao estado, quer de sectores de habitação que se situem entre a gama média/alta e o luxo. Isto parece significar que o mercado é percentualmente baixo e, os dados económicos dos últimos anos, não parecem, em Portugal, particularmente animadores. Em todo o caso alguma regulamentação e benefícios fiscais podem alterar ligeiramente o panorama. Mesmo num cenário deste tipo, mas moderado, é provável, que a taxa de crescimento de procura tenda até a diminuir.

Impõe, no entanto, o bom senso e algum optimismo, que se admita a possibilidade da situação se ir alterando no futuro, principalmente quando os potenciais compradores comuns de edifícios interiorizarem a ideia de que os custos dum imóvel não se limitam à prestação de juros e amortização do capital adquirido por empréstimo e que financia apenas as despesas de investimento.

E isto porque, conforme foi sendo já afirmado, existirão outras despesas, que, com este tipo de construção serão tendencialmente mais baixas:

- Despesas de manutenção
- Gastos de conservação

- Custos decorrentes da redução dos consumos energéticos
- Ausência ou minimização de eventuais taxa ambientais que não penalizarão os seus proprietários

Outros custos não têm uma mensurabilidade tão fácil em gastos monetários:

- Melhoria do bem-estar dos usuários por adequabilidade térmica, acústica, de ventilação e luminosidade
- Redução de situações de doença associados a situações de habitação mais insalubres de que as construções bioclimáticas podem proporcionar
- Reduções do custo dos impactos ambientais que não directamente associados à energia, não deixam de ter custos para a sociedade e, portanto, para o indivíduo.

No momento actual, em que o custo dos combustíveis fósseis atinge valores há pouco tempo impensáveis, e, para os quais, de forma realista, é preciso assumir não haver alternativa credível no horizonte, fácil se torna pensar, sem futurologia, que serão os custos energéticos vários que crescerão com taxas mais rápidas. E será muito provavelmente esta a consciencialização mais fácil de operar. Não que as questões ambientais, de bem-estar ou outras de igual natureza (e que se referiram atrás) não sejam relevantes. São-no certamente, mas, numa sociedade onde o individualismo não tem parado de crescer com enfraquecimento sistemático da ideia de bem-estar comunitário a conformidade nessas áreas terá de ser imposta. E numa sociedade como a nossa (e as outras todas) o cidadão recalcitra (ou tenta recalcitrar) com imposições do Estado que lhe parecerão sempre impostas ou taxas travestidas de outra coisa qualquer. Ora o custo da energia eléctrica necessária para abastecer os equipamentos mecânicos de calefação, arrefecimento, ventilação ou iluminação será brutalmente crescente, em todo o lado, e, por maioria de razão num país totalmente desprovido de combustíveis fósseis. Ao argumento de que o País é potencialmente rico em energia hídrica, eólica ou solar só aderirá quem não tiver ideia de percentagem que estes meios alternativos representam na factura energética. Mesmo considerando alguma eficácia recente nos aproveitamentos eólicos. Então, nada como o cidadão notar o desmesurado crescimento da sua factura da energia para começar a pensar que a sua habitação pode ser melhorada com alterações nas fachadas, algumas pequenas, e sempre com uma taxa de retorno do investimento particularmente atraente.

Em Portugal, ainda há, portanto, muito a dinamizar neste domínio. A sensibilização da população para as consequências que o rumo actual tem e terá para a qualidade da sua vida e para a das gerações futuras passará:

- Pela realização de campanhas mais elucidativas por parte do estado de modo a assumir uma maior responsabilidade na consciencialização da população.
- Pela publicação de novas normas e regulamentações mais exigentes no domínio do consumo energético e na gestão de resíduos na construção.
- Pela criação de um organismo com competências fiscalizadoras por parte do estado a partir do momento em que o rótulo de construção sustentável se afirme no país, para que este não seja falaciosamente utilizado.

- Pela responsabilidade dos projectistas em dinamizar tecnologias e recurso a fachadas sustentáveis em harmonia com o meio ambiente, sociedade e economia que potenciem um estatuto de Green Building preconizado pelo LEED.
- Pela generalização da utilização de equipamentos que permitam o aproveitamento de recursos endógenos da Terra (sol, vento, etc.) com a diminuição dos seus custos.
- Pela incursão de medidas educativas e que estimulem uma cadeia de consciência ecológica; para isso e desde cedo nas escolas deve haver um ensino que sensibilize as crianças contra os desperdícios dos consumos de energia desnecessários, pela reciclagem e reutilização de materiais.

Se, continuando optimista, para além do menor custo ambiental, estas tecnologias apresentarem custos económicos mais reduzidos durante as fases do seu ciclo de vida, a sua procura tenderá a crescer assim como aumentará também o número de entidades a quererem comercializar essa tecnologia. Desse modo, uma concorrência audaciosa e tecnologicamente evoluída será incentivada a melhorar o seu rendimento e consequentemente os preços diminuirão. A economia de escala funcionará tendendo também a reduzir o custo de materiais e equipamentos específicos.

Os materiais do futuro passarão ainda por ser “inteligentes”, no sentido de reagir espontaneamente e sem intervenção humana às condições do meio. Essa “inteligência” será integrada no material, de modo a que este possam alterar as suas características face às solicitações. Os materiais serão também programáveis por computador, podendo ser formulada, organizada e estruturada a matéria para satisfazer um conjunto de exigências predefinidas, como exemplifica a forma, a rigidez, etc. Os vidros electrocrómicos já mencionados no capítulo 3 ilustram bem um caso desses.

O futuro poderá passar, também pelo uso mais recorrente de materiais “verdes” e confortáveis. Por todas as razões apontadas nos capítulos anteriores, espera-se que haja uma tendência no desenvolvimento e proliferação de materiais que “respeitem” o meio ambiente. É já ligeiramente crescente a utilização de materiais que integram matéria reciclada, cujo fabrico é programado de modo a que possuam baixo impacto energético e que tenham grandes possibilidades de virem a ser reutilizados ou reciclados. Pretende-se também que a durabilidade destes materiais seja cada vez mais alargada. Principalmente porque, se ainda não é economicamente competitivo reciclar, em muitas áreas (mais ligadas ao consumo de energia), vai ser.

Quanto ao “conforto”, os materiais devem possuir propriedades delicadas, com características agradáveis em termos estéticos e sensoriais, possibilitando a harmonia entre o material e o utilizador.

Relativamente ao uso crescente de materiais biotecnológicos pode inferir-se que esta área a par da física, da mecânica e da química, é um ramo da ciência que intervém na concepção de biomateriais, sendo estes compostos por matéria viva com programação genética. São produzidas soluções a partir de células animais e vegetais para desenvolver moléculas biológicas que pelas suas propriedades encontram campo de aplicação no sector da construção. O seu emprego pode ser diverso, desde paredes auto-laváveis que dispensam operações de limpeza a sistemas de regulação higrométrica. Igualmente se prevê a aplicação de biomateriais para a auto-reparação de edifícios, dado que estes materiais são providos de “memória” que lhes permite retornar à sua fase inicial após determinada solicitação. (Simões, 2002)

Finalmente, é também importante que os materiais utilizados em revestimentos de fachadas sustentáveis não contribuam para o aumento sistemático de concentrações de substâncias não assimiláveis na natureza (recurso a energias renováveis), nem utilizem os recursos naturais de forma a

contribuir para a sua sistemática degradação física. Urge assim criar revestimentos com a missão de criar revestimentos de qualidade, e articular o respeito pela natureza com a inovação e a funcionalidade.

Ao nível da exigência pelo respeito ambiental da construção, espera-se que, atendendo às actuais preocupações, esta assuma no futuro uma posição de destaque no seio das exigências supracitadas.

## **Anexo 1**

Plantas e pormenores construtivos da fachada da torre  
do INEGI

## **Anexo 2**

Planta e pormenor construtivo das fachadas do Edifício  
Burgo



## 6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] Lamberts, R., Dutra, L. e Pereira, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitectura* Ed São Paulo: PW 1997
- [2] Manuel Duarte Pinheiro *Ambiente e Construção Sustentável* Instituto do Ambiente - Amadora 2006
- [3] GAMMARANO, Bianca, *Arquitectura Moderna versus Qualidade e sustentabilidade* 1992
- [4] Energy Research Group University College Dublin Richview, Clonskeagh Dublin, Ireland, 1997
- [5] Mascaro, Lucia Elvira Alicia Raffo de *O clima como parâmetro de desenho urbano*, São Paulo, 1994
- [6] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio\\_Brundtland](http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio_Brundtland) 17 – Novembro 2007
- [7] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento\\_sustent%C3%A1vel](http://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento_sustent%C3%A1vel) – Dezembro 2007
- [8] Revista Arquitectura e Vida, Janeiro 2001, pp. 74-78, “*Revestimentos de Paredes – Funções e Exigências*”
- [9] Veiga, Maria do Rosário Investigadora Principal do LNEC. *Acção de Formação sobre Revestimentos exteriores de Paredes*, Dezembro de 2004
- [10] Association pour l’étude de la pathologie et l’entretien du bâtiment (EPEBat) Classement reVETIR des systemes d’isolation thermique des façades par l’exterieur :définition et emploi. Livraison 375, Cathier 2929 : CSTB, 1996
- [11] Matos, Maria José da *silva Durabilidade como critério de projecto - o método factorial no contexto português* tese de Mestrado, FEUP 2003/2005
- [12] Marcos Padilha JR; Giovanni Ayres; Raphaele Lira; Daniel Jorge ; Gibson Meira *Levantamento quantitativo das patologias em Revestimentos Cerâmicos em Fachadas de Edificações verticais na cidade de João Pessoa - PB* ,1998
- [13] [www.tironenunes.pt](http://www.tironenunes.pt), 14 Março 2008
- [14] Paper, Jodi *Building Stone Magazine: Green Naturally* Primavera de 2007
- [15] Gonçalves, Hélder e Graça, João Mariz, *Conceitos Bioclimaticos para Edifícios em Portugal* Lisboa, Novembro 2004
- [16] MÜLFARTH, Roberta Kronka pesquisadora do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitectura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP) REVISTA CONSTRUÇÃO METÁLICA “Aço e vidro a combinação perfeita” edição 74, 2006
- [17] Lanham, Ana - SEMINÁRIOS *Desenvolvimento Sustentável Inovação*, 2004
- [18] CIB/CSRIR – International Report – Counsil for Research and Innovation in Building Constructio\_Report n.º BOUC/C361.
- [19] <http://www.ver.pt/conteudos/print.aspx?CmS=181> – Fevereiro 2008
- [20] <http://www.idhea.com.br/pdf/moderna.pdf>
- [21] [www.idhea.com.br](http://www.idhea.com.br)

- [22] Corbella, Óscar e Yannas Simon, *Em Busca de uma Arquitectura Sustentável para os Trópicos*, Rio de Janeiro, 2003
- [23] [http://www.acepe.pt/rccte/rccte\\_ct.asp#it](http://www.acepe.pt/rccte/rccte_ct.asp#it) – Fevereiro 2008
- [24] Mateus, Ricardo, *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção* – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, (2004)
- [25] Vivienne Brophy, Crea O'Dowd, Rachel Bannon, John Goulding and J. Owen Lewis, *Sustainable Urban Design*, Irlanda 2000
- [26] *Tools and Techniques for the Design and Evaluation of Energy Efficient Buildings - Facade colour design of mass housing*, Dezembro 1995
- [27] LAMBERTS, R., DUTRA, L. e PEREIRA, F.O.R.. *Eficiência Energética na Arquitectura* Ed São Paulo: PW 1997
- [28] Isabel Anselmo e Carlos Nascimento, Eduardo Maldonado, *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*, Lisboa, Novembro 2004
- [29] MEDEIROS, J. S. & SABBATINI, F. H. *Tecnologia e Projecto de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios*. São Paulo: EPUSP, 1999. 32 p. (Série Boletim Técnico, BT/PCC/246).
- [30] GOLDBERG, R. P. *Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades*. Bethany: Laticrete.1998. 200p.
- [31] Charles kibert, *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, 1994
- [32] Energy Research Group University College, *Bioclimatic Architecture*, Setembro 1997
- [33] [www.ecocasa.pt](http://www.ecocasa.pt) – Fevereiro 2008
- [34] <http://www.idhea.com.br/pintura.asp>, 24 Março 2008
- [35] M. J. Brites, C. Nunes, M. Lopes Prates, J. Alexandre, M. J. Carvalho, V. Teixeira *Desenvolvimento de Novos Revestimentos com Pigmentos Orgânicos para Absorvedores de Colectores Solares XIII Congresso Ibérico e VIII Ibero-Americano de Energia Solar*, Novembro 2006
- [36] DUAILIBE, R. P.; CAVANI, G. R. ; OLIVEIRA, M. C. B. *Proposta de Projecto de Revestimento Cerâmico de Fachada* – Estudo de caso. Florianópolis, 2005
- [37] [http://www.planetacad.com/PresentationLayer/ConcelhoUtil\\_01.aspx?id=7&canal\\_ordem=0302](http://www.planetacad.com/PresentationLayer/ConcelhoUtil_01.aspx?id=7&canal_ordem=0302) – Abril 2008
- [38] [http://cies2006.org/site/index.php?option=com\\_content&task=view&id=109&Itemid=142](http://cies2006.org/site/index.php?option=com_content&task=view&id=109&Itemid=142) – Abril 2008
- [39] FERREIRA, Sara Gusmão arquitecta com MBA em gestão e tecnologias ambientais. Edição 12 da “*revista alumínio*”, 2007
- [40] [http://www.ndidini.com.br/home\\_2.htm](http://www.ndidini.com.br/home_2.htm) – Janeiro 2008
- [41] BAKER, Nick Cambridge Architectural Research Ltd.
- [42] *Arquitectura Iberica* Ano III Nº15 Junho 2006 - *Sustentabilidade/ Sustainability* - Editor: Caleidoscópio - Ano de edição: 2006

- [43] [http://www.madeicentro.pt/portal/alias\\_\\_madeicentro/lang\\_\\_pt-PT/tabID\\_\\_154/FirstChild\\_\\_-1/DesktopDefault.aspx?alias=madeicentro&lang=pt-PT&tabID=154&FirstChild=-1#Especies](http://www.madeicentro.pt/portal/alias__madeicentro/lang__pt-PT/tabID__154/FirstChild__-1/DesktopDefault.aspx?alias=madeicentro&lang=pt-PT&tabID=154&FirstChild=-1#Especies) – Maio 2008
- [44] Memória descritiva das novas instalações do INEGI no campus da FEUP
- [45] Mateus, Ricardo, *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção* – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2004)
- [46] [http://www.construlink.com/Homepage/2003\\_GuiaoTecnico/Ficheiros/tecnica\\_cimianto\\_6.PDF](http://www.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/tecnica_cimianto_6.PDF) - 28 Maio 2008
- [47] <http://www.anuri.com/portugues/chapa.html> – 15 Maio 2008
- [48] <http://verticesearestas.blogspot.com/2006/10/edificio-do-burgo-souto-moura.html> 24 Maio 2008
- [49] <http://oportocool.wordpress.com/> – 17 Maio 2008
- [50] <http://www.buildingstonemagazine.com> – 17 Maio 2008
- [51] Gomes, João Paulo de Castro *Absorção e Permeabilidade de Inertes como Parâmetro de Avaliação da Durabilidade do betão* Universidade da Beira Interior, Covilhã 2001
- [52] [http://www.construlink.com/LogosCatalogos/covina\\_SGGANTELIO.pdf](http://www.construlink.com/LogosCatalogos/covina_SGGANTELIO.pdf) – 20 Maio 2008
- [53] <http://www.sbirt.ibict.br> – 22 Maio 2008
- [54] Ana lima e Márcio Monteiro *Durabilidade do contraplacado para revestimentos de paredes exteriores* – Seminário 2004/2005